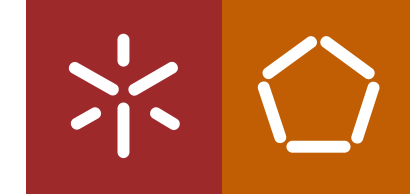




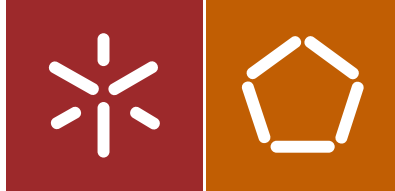
Hugo Filipe Neiva Pereira

Desenvolvimento da Declaração Ambiental  
do Produto (DAP) do Bloco de Terra  
Comprimida (BTC)

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia







Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Hugo Filipe Neiva Pereira

## Desenvolvimento da Declaração Ambiental do Produto (DAP) do Bloco de Terra Comprimida (BTC)

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor Ricardo Filipe Mesquita Silva Mateus  
Professor Doutor Dinis Miguel Campos Leitão

## DECLARAÇÃO

Nome: Hugo Filipe Neiva Pereira

Endereço eletrónico: hugosmaway@gmail.com

Telemóvel: 963779367

Número do Bilhete de Identidade: 14007243 8 ZZ3

Título dissertação / Tese:

Desenvolvimento da Declaração Ambiental do Produto (EPD) do BTC

Orientador(es): Ricardo Mateus e Dinis Leitão

Ano de conclusão: 2017

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Declaro que é autorizada a reprodução integral desta tese/trabalho apenas para efeitos de investigação, mediante declaração escrita do interessado, que a tal se compromete;

Concordo que a minha tese ou dissertação seja colocada no repositório da Universidade do Minho com o seguinte estatuto:

- Disponibilização do conjunto do trabalho para acesso exclusivo na Universidade do Minho durante o período de 1 ano, sendo que após o tempo assinalado autorizo o acesso mundial.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Antes de tudo tenho de dizer que esta página faz todo sentido ser escrita. O percurso foi longo, com altos e baixos, momentos bons e momentos menos bons, mas chega agora o seu fim.

Tenho de agradecer a Deus por tudo isto, pela sua presença e pela vida.

Agradeço aos meus pais Rosa Carvalho e Fernando Couto, pois sem eles nada disto era possível! Foram eles que sempre me incentivaram nesta “luta” e nunca me faltaram com nada. Foram compreensivos, mas também rigorosos e exigentes quando tinham de ser. Agradeço-lhes por tudo!

À minha irmã Joana Pereira agradeço toda a ajuda e apoio que me deu.

Agradeço também à minha namorada Joana Quesado por todo o apoio e paciência.

Ao professor Ricardo Mateus agradeço por todo o apoio e acompanhamento. Esteve sempre disponível para me ajudar e colaborar comigo. Ao professor Dinis Leitão agradeço também todo o apoio que me deu e toda a disponibilidade. Foram os dois excelentes nos papéis de orientador e coorientador respetivamente.

Por fim agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado.” Roberto Shinyashiki.

Obrigado!



## RESUMO

A indústria da construção é o setor que mais recursos naturais consome e mais energia utiliza gerando assim grandes impactes ambientais. Deste modo, é necessário mudar mentalidades e procurar reduzir estes consumos excessivos e introduzir novas soluções. Surge assim o conceito de construção sustentável, que visa a utilização eficiente dos recursos, tendo em vista a minimização dos impactes ambientais e a dimensão económica e social.

Para ajudar os compradores na escolha dos materiais adequados à prática sustentável, existem várias ferramentas, como os rótulos ambientais, as auto declarações e as declarações ambientais do produto, que informam sobre o desempenho ambiental associado a cada produto. Neste trabalho destaca-se a Declaração Ambiental do Produto (DAP), sendo baseada na norma NP EN 15804:2012 e nas Regras de Categoria de Produto (RCP) para materiais de construção.

Os blocos de terra comprimida (BTC) são uma evolução do adobe, por estabilização do solo por meios mecânicos, através de uma prensa. Os blocos são formados por solo, estabilizadores (cimento, cal, etc.) e água. Estes podem adquirir várias formas e tipos, sendo possível construir diversos tipos de alvenaria com os mesmos. Por ser constituído em grande parte por uma matéria natural, acredita-se que o seu impacte ambiental seja bastante inferior quando comparado com produtos semelhantes.

Este trabalho tem como finalidade o estudo do desempenho ambiental do BTC, desenvolvendo um documento estrutural de uma DAP, uma vez que a sua elaboração implica a verificação e certificação por uma entidade independente. Por isso, os resultados apresentados apenas poderão ser considerados como uma avaliação do desempenho ambiental do BTC.

Palavras-chave: DAP; indústria da construção; desempenho ambiental; BTC; impactes.





## **ABSTRACT**

The construction industry is the sector that consumes more natural resources and uses more energy, thus generating great environmental impacts. In this way, it is necessary to change mentalities and try to reduce these excessive consumption and introduce new solutions. Thus, the concept of sustainable construction, which aims at the efficient use of resources, is developed with a view to minimizing environmental impacts and the economic and social dimension.

To help consumers choose the right materials for sustainable practice, there are a number of tools, such as environmental labels, self-declarations, and environmental product declarations that report on the environmental performance associated with each product. In this work, the Environmental Product Declaration (EPD) stands out, being based on the norm EN 15804:2012 and the Product Category Rules (PCR) for construction materials.

The Compressed Earth Block (CEB) are an evolution of the adobe, by stabilizing the soil by mechanical means, through a press. The blocks are formed by soil, stabilizers (cement, lime, etc.) and water. These can take various forms and types, and it is possible to build several types of masonry with them. Because it is made with mostly of natural matter, it is believed that their environmental impact is significantly lower when compared to similar products.

This work has the purpose of studying the environmental performance of the CEB, developing a structural document of a EPD, since its elaboration implies verification and certification by an independent entity. Therefore, the presented results can only be considered as an evaluation of the environmental performance of the CEB.

**Keywords:** DAP; construction industry; environmental performance; CEB; impacts.



# ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	OBJETIVOS .....	3
3.	REVISÃO DO ESTADO DE ARTE .....	5
3.1.	Desenvolvimento sustentável .....	5
3.2.	Sustentabilidade na Construção .....	6
3.3.	Declaração Ambiental do Produto (DAP) .....	7
3.3.1.	Procedimento para a elaboração de uma DAP .....	9
3.4.	Análise Ciclo de Vida (ACV) .....	11
3.4.1.	Implementação de uma ACV .....	12
3.4.2.	Tipos de Análise Ciclo de Vida .....	13
3.4.3.	Normas Aplicáveis .....	14
3.5.	Regras de Categoria de Produto (RCP) .....	15
3.5.1.	Normas .....	17
3.6.	Ferramenta e métodos para a avaliação do ciclo de vida .....	17
3.6.1.	SimaPro .....	17
3.6.2.	Métodos de Avaliação de Impacte .....	18
3.6.3.	Base de Dados .....	19
3.7.	Bloco de terra compactada (BTC) .....	20
3.7.1.	Tipos de BTC .....	20
3.7.2.	Tipos de Alvenaria .....	21
3.7.3.	Produção de BTC's .....	22
3.7.4.	Caracterização dos solos .....	23
3.7.5.	Ensaaios .....	25
3.7.5.1.	Ensaaios de campo .....	25
3.7.5.2.	Ensaaios laboratoriais .....	27
3.7.6.	Estabilização dos solos .....	28
3.7.7.	Normalização .....	30
3.7.8.	Características técnicas do BTC .....	35
3.7.8.1.	Resistência à compressão .....	35
3.7.8.2.	Resistência à tração por flexão .....	36
3.7.8.3.	Condutibilidade térmica .....	37
3.7.8.4.	Absorção de água .....	39

3.7.8.5. Redução Sonora .....	40
3.7.8.6. Profundidade de erosão .....	40
4. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO .....	43
4.1. Enquadramento .....	43
4.2. Tipos de DAP de acordo com as etapas de ciclo de vida consideradas .....	43
4.3. Comparabilidade das DAP de Produtos de Construção .....	45
4.4. Regras de Categoria e Produto para ACV .....	46
4.4.1. Etapas do Ciclo de Vida e Módulos de Informação a ser incluídos .....	46
4.4.2. Unidade Funcional .....	46
4.4.3. Unidade Declarada .....	46
4.4.4. Unidades .....	47
4.4.5. Vida Útil de Referencia (VUR) .....	47
4.4.6. Fronteiras do Sistema .....	47
4.4.7. Etapa de Produto (Obrigatória) – A1-A3 .....	48
4.4.8. Etapa de Construção (Opcional) – A4-A5 .....	50
4.4.9. Etapa de Utilização (Opcional) – B .....	50
4.4.9.1. Componentes da Construção – B1-B5 .....	51
4.4.9.2. Exploração da Construção – B6-B7 .....	52
4.4.10. Etapa de Fim de Vida (Opcional) – C. ....	53
4.4.11. Benefícios e Cargas Ambientais Para Além da Fronteira do Sistema (Opcional) – D .....	55
4.5. Critérios de Exclusão .....	56
4.6. Seleção de Dados .....	57
4.7. Requisitos da Qualidade dos Dados .....	58
4.8. Desenvolvimento de cenários ao nível do produto .....	59
4.8.1. Importações .....	60
4.9. Análise de Inventário .....	60
4.9.1. Recolha de dados .....	60
4.9.2. Procedimento de cálculo .....	60
4.9.3. Regras de alocação .....	61
4.9.4. Alocação em caso de reutilização, reciclagem e recuperação .....	61
4.10. Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) .....	62
4.11. Conteúdo de uma declaração ambiental de produto (DAP) .....	63
4.11.1. Declaração dos parâmetros ambientais derivados da ACV .....	64

4.11.2.	Regras para a declaração de informações de ACV por módulo .....	65
4.11.3.	Parâmetros que descrevem os potenciais impactes ambientais.....	65
4.11.4.	Parâmetros que descrevem a utilização dos recursos .....	68
4.11.5.	Outra informação ambiental que descreve diferentes categorias de resíduos e fluxos de saída .....	69
4.12.	Cenários e informação técnica adicional .....	69
4.12.1.	Etapas do processo de construção .....	70
4.12.2.	Etapas de utilização (B1-B7) .....	71
4.12.3.	Etapas do fim de vida .....	74
5.	OBJETO DE ESTUDO .....	79
5.1.	Enquadramento.....	79
5.2.	Processo de produção de blocos de terra comprimida perfurados.....	80
5.2.1.	Materiais utilizados.....	80
5.2.2.	Produção dos BTC .....	80
5.3.	Cálculo para ACV.....	81
5.3.1.	Tipo de DAP e etapas de ciclo de vida .....	81
5.3.2.	Unidade declarada .....	81
5.3.3.	Vida Útil de Referencia .....	81
5.3.4.	Fronteira do sistema .....	81
5.3.5.	Seleção dos dados.....	83
5.3.6.	Qualidade dos dados.....	84
5.3.7.	Desenvolvimento de cenários ao nível do produto .....	84
5.3.8.	Etapas de Construção .....	84
5.3.9.	Etapas de Utilização.....	85
5.3.10.	Etapas de Fim de Vida .....	88
5.3.11.	Benefícios e cargas ambientais para além da fronteira do sistema .....	88
5.4.	Inventário do Ciclo de Vida .....	89
5.5.	Apresentação dos Resultados .....	92
5.5.1.	Impactes associados a uma unidade de BTC .....	92
5.5.1.1.	Impactes ambientais .....	92
5.5.1.2.	Recursos Energéticos .....	95
5.5.2.	Comparação do impacto associado a 1 kg de BTC com 1 kg de tijolo cerâmico... ..	96
5.5.2.1.	Impactes Ambientais .....	96

5.5.2.2. Recursos Energéticos .....	98
5.5.3. Comparação do impacte associado a 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de BTC com 1 m <sup>2</sup> de alvenaria tijolo cerâmico .....	99
5.5.3.1. Cálculo da quantidade de argamassa e tijolos necessários para cada solução .....	99
5.5.3.2. Quantificação de materiais e processos relacionados com a produção de argamassas e alvenarias .....	101
5.5.3.3. Cálculo dos impactes ambientais dos dois tipos de alvenaria .....	105
5.5.3.4. Comparação das soluções .....	109
5.5.4. Impactes associados a 1 m <sup>2</sup> de BTC .....	113
6. CONCLUSÕES .....	115
7. TRABALHOS FUTUROS .....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Dimensões do Desenvolvimento Sustentável.....	5
Figura 2 - Os 5P's do Desenvolvimento Sustentável .....	6
Figura 3 - Exemplos de declarações ambientais - Tipo I.....	8
Figura 4 - Exemplos de programas de declarações ambientais - tipo III.....	9
Figura 5 - Processo de elaboração de uma DAP .....	10
Figura 6 - Sistemas de registo de DAP's, rede europeia .....	10
Figura 7 – Fases do ciclo de vida do produto.....	11
Figura 8 – Etapas da ACV.....	12
Figura 9 - Tipos de Análise Ciclo de Vida.....	14
Figura 10 - Normas da Série ISO 14000.....	15
Figura 11 - Procedimentos para desenvolvimento de novos RCP.....	16
Figura 12 - Etapas para a preparação de documento RCP .....	16
Figura 13 – Exemplos de blocos de diferentes categorias .....	21
Figura 14 - Prensa Manual (1) e Prensa Automática (2).....	23
Figura 15 - Princípios Módulo D.....	56
Figura 16 - Fronteiras do Sistema.....	83
Figura 17 - Alvenaria de BTC perfurado com argamassa.....	85
Figura 18 - Estrutura de madeira com BTC .....	85
Figura 19 - Giratória utilizada na extração do solo .....	89
Figura 20 - Camião tipo, utilizado para transporte do solo .....	90
Figura 21 - Embalagem de BTC's.....	90
Figura 22 - BTC produzido .....	90
Figura 23 – Árvore de processos relativa à produção de uma unidade de BTC .....	94
Figura 24 - Distribuição percentual dos impactes ambientais totais associados à produção de um BTC .....	94
Figura 25 - Recursos energéticos associadas à produção de um BTC.....	95
Figura 26 - Distribuição percentual dos impactes ambientais totais associados à produção de um kg de BTC e 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm, apresentados individualmente por categoria .....	97
Figura 27 – Energia não renovável (1) e Energia total (2).....	98
Figura 28 - Árvore relativa à alvenaria de tijolo (apenas alguns materiais e processos) .....	107
Figura 29 - Árvore relativa à alvenaria de BTC (apenas alguns materiais e processos) .....	109

Figura 30 – Impactes ambientais totais associados à execução de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de BTC e 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm, apresentados individualmente por categoria. ....	111
Figura 31 - Recursos energéticos associados à produção de 1m <sup>2</sup> de alvenaria de BTC e 1m <sup>2</sup> de alvenaria de tijolo.....	112



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Alvenarias de Bloco e Bloco Requerido .....	22
Tabela 2 - Resumo de Normas, documentos normativos e técnicos da construção em terra...	32
Tabela 3 - Documentos normativos .....	33
Tabela 4 – Documentos técnicos .....	33
Tabela 5 - Características geométricas dos BTC .....	34
Tabela 6 - Resistência à compressão .....	35
Tabela 7 - Resistência à tração por flexão.....	37
Tabela 8 - Resistência à tração por compressão diametral.....	37
Tabela 9 - Condutibilidade térmica do BTC .....	38
Tabela 10 - Absorção de água dos BTC's.....	39
Tabela 11 - Redução sonora do BTC.....	40
Tabela 12 - Profundidade de erosão por gotejamento .....	41
Tabela 13 - Profundidade de erosão acelerada .....	41
Tabela 14 – Módulos e Estágios do Ciclo de Vida e Elementos Obrigatórios e Opcionais ....	44
Tabela 15 - Tipos de Declarações Ambientais .....	45
Tabela 16 - Exemplos de dados – Módulo A3 .....	48
Tabela 17 - Aplicação de dados genéricos e dados específicos .....	58
Tabela 18 – Critérios para a demonstração da verificação de uma DAP .....	64
Tabela 19 - Parâmetros e Impactes Ambientais .....	66
Tabela 20 - Parâmetros que descrevem a utilização de recursos.....	68
Tabela 21 - Parâmetros relacionados com diferentes categorias de resíduos.....	69
Tabela 22 - Parâmetros que descrevem outros fluxos de saída .....	69
Tabela 23 - Parâmetros que descrevem o transporte para o local da obra .....	70
Tabela 24 - Instalação do produto no local da obra .....	70
Tabela 25 - Parâmetros definidos para a VUR .....	71
Tabela 26 - Parâmetros sobre o processo de manutenção .....	72
Tabela 27 - Parâmetros sobre o processo de reparação .....	73
Tabela 28 - Parâmetros sobre a substituição .....	73
Tabela 29 - Parâmetros sobre a reabilitação.....	74
Tabela 30 - Parâmetros para utilização de energia e utilização de água.....	74
Tabela 31 - Parâmetros para a etapa do fim de vida.....	75
Tabela 32 - Parâmetros sobre o processo de substituição .....	86

Tabela 33 - Parâmetros sobre o processo de reabilitação .....	87
Tabela 34 - Parâmetros para utilização de energia (B6) e utilização de água (B7).....	87
Tabela 35 - Características do BTC .....	91
Tabela 36 - Materiais e equipamentos utilizados na extração, transporte e produção dos BTC .....	91
Tabela 37 - Valores para produção de uma unidade de BTC.....	91
Tabela 38 - Dados a introduzir no SimaPro relativamente à produção de uma unidade de BTC .....	92
Tabela 39 - Impactes ambientais totais associados à produção de uma unidade de BTC .....	93
Tabela 40 - Impactes ambientais relativos às matérias-primas e processos associados à produção de uma unidade de BTC.....	93
Tabela 41 - Recursos energéticos associados à produção de uma unidade de BTC.....	95
Tabela 42 - Impactes ambientais totais associados à produção de 1 kg de BTC e 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm .....	96
Tabela 43 - Recursos energéticos relativos à produção de 1 kg de BTC e 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm .....	98
Tabela 44 - Materiais e processos necessários à produção de argamassa à base de cimento para assentamento.....	102
Tabela 45 - Materiais e processos necessários à produção de argamassa à base de cimento para reboco em duas faces da parede.....	103
Tabela 46 - Materiais e processos necessários à produção de argamassa à base de terra para assentamento.....	104
Tabela 47 - Materiais e processos necessários à produção de argamassa à base de terra para reboco em duas faces da parede.....	104
Tabela 48 - Materiais e processos necessários para execução da alvenaria de tijolo cerâmico .....	105
Tabela 49 - Materiais e processos necessários para execução da alvenaria de BTC.....	105
Tabela 50 - Impactes totais associados à execução de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm .....	106
Tabela 51 - Impactes ambientais associados aos materiais e processos para execução de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico .....	106
Tabela 52 - Recursos energéticos associados à execução da alvenaria de tijolo cerâmico....	107
Tabela 53 - Impactes totais associados à execução de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de BTC.....	108

Tabela 54 - Impactes ambientais associados aos materiais e processos para execução de 1 m <sup>2</sup> de BTC .....	108
Tabela 55 - Recursos energéticos associados à execução da alvenaria de BTC .....	109
Tabela 56 - Recursos energéticos associados à execução de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico e 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de BTC.....	112
Tabela 57 - Impactes ambientais associados à execução de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de BTC .....	113
Tabela 58 - Recursos energéticos associados à execução de 1 m <sup>2</sup> de alvenaria de BTC.....	113



## ABREVIATURAS E SIGLAS

- ACV – Avaliação do Ciclo de Vida (em inglês: LCA – *Life Cycle Assessment*);
- ADP – Depleção dos Recursos Abióticos (*Abiotic Depletion*);
- AICV – Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida;
- AP – Acidificação (*Acidification*);
- ASTM – American Society for Testing and Materials;
- BREEM – BRE Environmental Assessment Method;
- BTC – Bloco de Terra Compactada (em inglês: CEB – *Compressed Earth Block*);
- CAATEEB – Col·legi d' Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d' Edificació de Barcelona;
- C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> – Eteno;
- CFC – Clorofluorocarboneto;
- CFC-11 – Tricloromonofluormetano;
- CH<sub>4</sub> – Metano;
- CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono;
- DAP – Declaração Ambiental de Produto (em inglês: EPD – *Environmental Product Declaration*);
- EN – Norma Europeia;
- EP – Eutrofização (*Eutrophication*);
- EPD-Norge – The Norwegian EPD Foundation;
- UE – União Europeia;
- GWP – Aquecimento Global (*Global Warming*);
- IBU – Institut Bauen Umwelt;
- ICV – Inventário do Ciclo de Vida (em inglês: LCI – *Life Cycle Inventory*);
- INIES – Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire;
- Ip – Índice de plasticidade;
- ISO – Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization*);
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- LL – Limite de Liquidez;
- LP – Limite de Plasticidade;
- LR – Limite de Retração;
- NP – Norma Portuguesa;

- ODM – Objetivos de Desenvolvimento do Milénio;
- ODP - Depleção da Camada de Ozono (*Ozone Layer Depletion*);
- ONU – Organização das Nações Unidas;
- PCI – Poder Calorífico Inferior;
- $\text{PO}_4^{3-}$  - Fosfato;
- POCP – Oxidação Fotoquímica (*Photochemical Oxidation*);
- RCP – Regras de Categoria de Produto (em inglês: PCR – *Product Category Rules*);
- RR – Retração Relativa;
- Sb – Antimônio;
- SEMC – Swedish Environment Management Council;
- SIAC – Sistema de Apoio a Ações Coletivas;
- $\text{SO}_2$  – Dióxido de Enxofre;
- UM – Universidade do Minho;
- VUR – Vida Útil de Referência.

## 1. INTRODUÇÃO

A construção em terra é a técnica construtiva mais antiga utilizada pelo Homem em todo o mundo. Ao longo dos tempos foram sendo desenvolvidas várias técnicas consoante as localizações geográficas e meteorológicas de cada local. Hoje em dia as técnicas mais utilizadas são a taipa, o adobe e os blocos de terra comprimida (Gomes, 2015).

Segundo a Agenda 21 para a Construção Sustentável, só durante a fase de construção são consumidos cerca de 50% dos recursos naturais, produzidos mais de 50% dos resíduos, consumida mais de 40% de energia (nos países industrializados, sendo em Portugal cerca de 20% da energia total do país) e produzidas cerca de 30% das emissões de CO<sub>2</sub>.

Os blocos de terra comprimida (BTC) surgiram de uma evolução do adobe, por estabilização do solo por meios mecânicos, consistindo da prensagem do solo confinado num molde, permitindo obter pequenos bolos de terra prensada, mais resistentes e duráveis em comparação com o adobe.

Este tipo de construção apresenta uma significativa importância em questões ambientais, pois utiliza um recurso abundante no próprio local de construção ou arredores, podendo evitar gastos energéticos com o transporte. É elaborado por solo prensado e não necessita de ser cozido em fornos, evitando assim consumos de energia térmica e elétrica e emissões de CO<sub>2</sub>.

No entanto, não é suficiente afirmar que os BTC's são de facto um material com bom desempenho ambiental. Para que estes tenham credibilidade e transparência é importante serem detentores de uma Declaração Ambiental de Produto – DAP (em inglês, Environmental Product Declaration – EPD).

Uma declaração ambiental do produto (DAP) é definida como “um conjunto de dados ambientais quantificados para um produto, com categorias de parâmetros pré-definidas, baseado na série de normas ISO 14040:2006, não excluindo informação adicional à Avaliação do ciclo de vida (ACV)”, ou seja, fornece informações sobre o desempenho ambiental de um determinado produto ao longo de toda a sua vida e isso origina grandes vantagens quer para os produtores, quer para toda a cadeia produtiva, incluindo os

utilizadores finais. Todas as DAP's devem seguir a norma ISO 14025:2006, relativa ao rótulos ambientais do tipo III, e a metodologia de Análise do Ciclo de Vida definida pelas normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. Existe ainda uma norma específica para o setor dos produtos de construção que é a ISO 21930:2007. Existem normas mais recentes para a realização de declarações ambientais, nomeadamente a NP EN 15804:2012 e a NP EN 15942:2011.

Este tipo de declaração deve respeitar e cumprir regras e diretrizes específicas, designadas por Regras de Categoria de Produto – RCP (em inglês, Product Category Rules). As RCP's são um complemento aos requisitos gerais dos programas de DAP contemplados nas normas ISO já mencionadas.

As Declarações Ambientais de Produto (DAP) já podem ser registadas, com reconhecimento internacional, pelo sistema nacional DAPHabitat. Este sistema foi lançado em 2014 no âmbito de um projeto SIAC, aprovado no âmbito da estratégia de eficiência coletiva do Cluster Habitat Sustentável (QREN POFC 01/SIAC/2011 nº18653).



## 2. OBJETIVOS

Esta dissertação tem como finalidade a obtenção de uma declaração ambiental de produto para os blocos de terra comprimida (BTC), conhecido como bloco ecológico por ser produzido com recursos naturais e ser energeticamente eficiente. Embora este produto não seja muito utilizado em Portugal, com base em estudos que estão a ser desenvolvidos pelo grupo B2Terra, acredita-se que este será um material com forte potencial de escolha em detrimento de outros materiais correntes. No entanto, é desconhecido o impacto ambiental que este provoca, daí a importância do desenvolvimento de uma declaração ambiental do produto.

Assim, o objetivo do desenvolvimento desta DAP é a quantificação dos impactos ambientais associados à produção de um bloco de terra comprimida com uma determinada formulação e para um determinado tipo de solo. Para tal, será utilizada a ferramenta informática de avaliação de ciclo de vida *SimaPro*.

Deste modo, para a realização da dissertação será necessário:

- Desenvolvimento do Estado de Arte;
- Desenvolvimento e apresentação da metodologia de investigação;
- Realização do objeto de estudo:
  - Apresentar o processo de produção do BTC;
  - Realizar a Análise do Ciclo de Vida (ACV) do Bloco de Terra Comprimida, descrevendo o produto e definindo as fronteiras do estudo;
  - Realização do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), de modo a identificar as principais entradas e saídas do processo produtivo;
  - Modelar o processo produtivo numa ferramenta de análise de ACV e avaliar os impactos ambientais incorporados, ou seja, efetuar a Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV);
  - Desenvolvimento do documento estrutural da DAP para a comunicação dos impactos ambientais do material;
  - Efetuar o estudo dos impactos ambientais do tijolo cerâmico furado de 11 cm, podendo-se comparar o seu desempenho com o desempenho do BTC.

Para o desenvolvimento da Declaração Ambiental do Produto, será necessário verificar a Regra de Categoria de Produto disponível mais adequada ao tipo de produto em estudo. No que respeita aos blocos de terra comprimida, a RCP a ser escolhida será a de unidades de alvenaria no sistema DAPHabitat. Existe também a possibilidade de utilizar a RCP da Environdec relativa a tijolos, blocos, telhas, lajes de argila e terras siliciosos.

Para quantificar as categorias de impacto ambiental apresentadas na DAP é necessário recolher e calcular os dados para a Análise do Ciclo de Vida. A quantificação tem em conta a análise *cradle-to-gate* (do berço até ao portão), ou seja, a avaliação do impacto dos blocos de terra comprimida será avaliada desde a extração da terra, até ao processo de produção. A fase de utilização e fim de vida não serão consideradas nesta análise.

Será necessário fazer uma avaliação de todos os processos que compõem a produção dos blocos de terra comprimida, bem como definir objetivos e fronteiras do produto e quantificar *inputs* (entradas, por exemplo matéria-prima) e *outputs* (saídas, por exemplo resíduos) do sistema produtivo, resultando assim na elaboração da árvore de processos relativamente ao produto em estudo.

Na fase seguinte será realizado o Inventário do Ciclo de Vida (ICV), que consistirá na elaboração de uma listagem de aspetos ambientais que circulam através das fronteiras do sistema do produto na forma de correntes de entrada e saída de matéria e de energia, isto é, o objetivo é identificar todas as entradas e saídas da árvore de processos.

A avaliação dos dados recolhidos nas fases anteriores será efetuada através do *SimaPro*. Esta ferramenta possui vários métodos de Avaliação do Impacte de Ciclo de Vida (AICV) que analisam, a entrada e saída de materiais, consumos de energia e os impactos ambientais de um material durante o seu ciclo de vida. Deste modo, vai permitir um fácil processamento dos dados de análise do inventário, garantindo uma maior segurança nos cálculos. Dos métodos disponibilizados, os que serão utilizados serão o *CML baseline* e o *Cumulative Energy Demand*.

Para além das componentes acima mencionadas, será necessária uma recolha de informação bibliográfica ao longo de todo o processo de investigação.

### 3. REVISÃO DO ESTADO DE ARTE

#### 3.1. Desenvolvimento sustentável

O termo desenvolvimento sustentável ficou definido em 1987, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU), como sendo "um desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (Relatório Brundtland, 1987)".

Em 1992 realizou-se, no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, onde surgiu a Agenda 21, um documento que sistematiza um plano de ações, com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, sendo este, fixado em três áreas de desenvolvimento: ambiental, social e económica (Figura 1). Com a criação da Agenda 21 a questão ambiental ganha importância, enquanto antes ficava para último lugar, ou era mesmo esquecida sempre que o assunto era o desenvolvimento.



Figura 1 – Dimensões do Desenvolvimento Sustentável (Teitelbaum, 2017)

Em 2000, realizou-se uma Cimeira em Nova Iorque, onde foi aprovada a Declaração do Milénio, que engloba 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM). Estes objetivos têm em vista a melhoria do futuro da humanidade, conduzindo ao desenvolvimento e eliminação da pobreza.

Tendo em conta o sucesso dos ODM, em 2015, a ONU realizou uma nova Cimeira onde ficaram definidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Trata-se da Agenda

2030, um novo plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade, procurando fortalecer a paz mundial, sendo para isso necessário atuar em parcerias. (UNRIC, 2016)

Pessoas, Planeta, Prosperidade, Paz e Parcerias são os 5 pilares dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Figura 2).



Figura 2 - Os 5P's do Desenvolvimento Sustentável (IMVF, 2016)

### 3.2. Sustentabilidade na Construção

Um dos setores que mais contribui em matéria de impactos ambientais é o da indústria da construção. Estima-se que o consumo de cimento, em quilos por habitante do mundo, é já maior que o de alimentos, preocupando assim as gerações no que concerne ao conceito de sustentabilidade. Esta apresenta-se assim como o novo paradigma do setor da construção. O impacto ambiental da construção civil depende de uma enorme cadeia produtiva: extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais e componentes, execução, práticas de uso e manutenção, demolição no final da vida útil e o destino dos resíduos. Constata-se assim uma preocupação máxima com a alteração rápida da situação deste setor, para que se torne possível a mudança de uma construção poluente para uma construção mais sustentável e amiga do ambiente (Ferreira, 2004). A dificultar tal transformação encontram-se os maus hábitos que continuam a persistir, desde o consumo não racionalizado de matérias-primas, à utilização de mão-de-obra não qualificada acompanhada dos métodos ainda tradicionais na construção, dependência de

recursos energéticos não renováveis e à enorme produção de resíduos (Mateus e Bragança, 2008).

No relatório “Agenda 21 on Sustainable Constrution” (CIB, 1999), Librelotto explora as mudanças necessárias na construção civil e acima de tudo quais as estratégias a adotar para que seja alcançada a sustentabilidade neste setor. Sendo necessárias várias mudanças na indústria da construção, destacam-se algumas medidas que podem ser consideradas como os pilares da construção sustentável: diminuir os custos, economizar energia e água, maximizar a durabilidade dos materiais, minimizar a produção de resíduos, assegurar a salubridade dos edifícios, utilizar materiais eco-eficientes, planejar a conservação e a reabilitação e garantir condições de higiene e segurança nos trabalhos.

### **3.3. Declaração Ambiental do Produto (DAP)**

Assiste-se atualmente a uma sensibilização da indústria sobre a questão dos impactes ambientais dos produtos, assim como a procura de informação sobre o desempenho ambiental dos mesmos. Muitas empresas sentem dificuldade em comunicar o desempenho ambiental dos seus produtos aos seus clientes e fornecedores e utilizam técnicas que não transmitem transparência e informações fidedignas e para isso foi desenvolvida a Declaração Ambiental do Produto - DAP (em inglês, Environmental Product Declaration – EPD).

Uma DAP é definida como “um conjunto de dados ambientais quantificados para um produto, com categorias de parâmetros pré-definidas, baseado na série de normas ISO 14040:2006, não excluindo informação adicional à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)”, ou seja, fornece informações sobre o desempenho ambiental de um determinado produto ao longo de toda a sua vida, sendo realizadas segundo requisitos das normalizações europeias e isso origina grandes vantagens quer para os produtores, quer para toda a cadeia produtiva, incluindo os utilizadores finais. Estas declarações são certificadas por entidades independentes e baseiam-se em métodos científicos capazes de permitir a comparação entre produtos da mesma categoria.

Este tipo de declaração deve respeitar e cumprir regras e diretrizes específicas, designadas por Regras de Categoria de Produto – RCP. As RCP's garantem transparência no processo de elaboração das DAP e permitem que sejam comparáveis.

As DAP são declarações ambientais do tipo III e além destas existem ainda as declarações ambientais do tipo I que são os rótulos ambientais e do tipo II que são auto declarações.

### **Tipo I – Rótulos ecológicos:**

Este tipo de declaração ambiental atribui rótulos a produtos e permite que estes sejam comparáveis com outros da mesma categoria, tendo em conta o seu desempenho ambiental e o seu ciclo de vida. Estes são de verificação obrigatória por uma entidade independente de terceira parte, ou seja, agências governamentais, setor privado ou sem fins lucrativos, não podem estas estar vinculadas à fabricação ou venda do produto. Para a emissão destes rótulos devem ser tidos em conta os princípios e procedimentos da norma ISO 14024:1999. Na Figura 3 apresentam-se três exemplos de rótulos ecológicos.



Figura 3 - Exemplos de declarações ambientais - Tipo I

### **Tipo II – Auto declarações:**

Como o próprio nome indica, estas são declarações desenvolvidas pelo próprio fabricante, importador ou distribuidor do produto. Assim sendo, estas normas não são verificadas por partes independentes e a sua aplicação é informal, o que as tornam menos credíveis. Como exemplo de auto declarações temos as menções de “livre de CFC”, “biodegradável”, “reciclável”, “não tóxico”, entre outras.

### **Tipo III – Declarações Ambientais:**

Como já mencionado anteriormente, as DAP têm em conta o desempenho ambiental de um produto ao longo de toda a sua vida e permitem a comparação entre produtos da

mesma categoria. Estas declarações necessitam ser validadas por um verificador independente e regem-se pela ISO 14025:2006, NP EN 15804:2012, NP EN 15942:2011 (relativas às declarações ambientais do tipo III) e pela ISO 21930:2007 (produtos de construção). Na Figura 4 encontram-se alguns exemplos de programas de declarações ambientais.



Figura 4 - Exemplos de programas de declarações ambientais - tipo III

### 3.3.1. Procedimento para a elaboração de uma DAP

Para elaborar uma DAP deve-se seguir as seguintes etapas:

- Obter documentos RCP aplicáveis ao produto em análise. Caso não haja documentos RCP que se apliquem ao produto, deve-se elaborar um documento RCP adequando ao desenvolvimento da DAP que se pretende;
- Desenvolver o ACV de acordo com as RCP de referência, a norma ISO 14025:2009, a norma NP EN 15804:2012 e requisitos específicos da certificação da DAP;
- Recolher e organizar informação, elaborando um esboço da DAP, tendo em conta os resultados obtidos na ACV e seguindo o documento de RCP de referência;
- Realizar o procedimento de verificação da DAP, entregando toda documentação a um organismo de certificação independente;
- Registar e publicar a DAP.

Na Figura 5 é possível analisar um esquema fornecido por uma entidade nacional que regista e publica declarações ambientais de produto, onde se podem verificar os procedimentos adotados pela mesma.

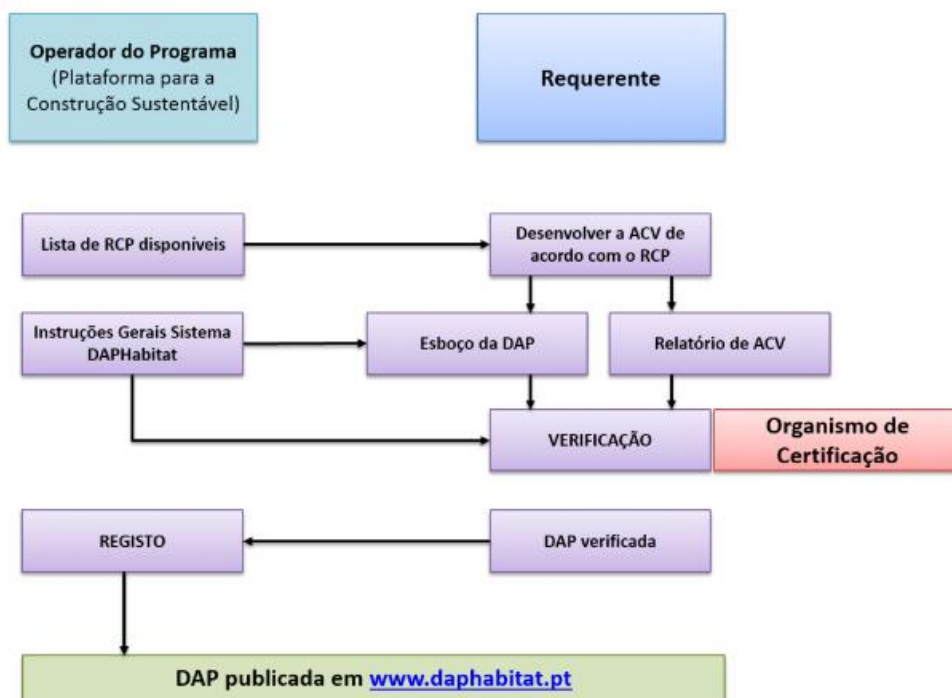


Figura 5 - Processo de elaboração de uma DAP (Daphabitat, 2017)

Como já referido anteriormente, as DAP necessitam de ser validadas e acreditadas por um verificador independente. Na Figura 6 são apresentadas algumas dessas entidades que fazem parte da rede europeia ECOPlatform, incluindo a entidade portuguesa DAPHabitat.

✓ **IBU** (Institut Bauen Umwelt, Alemanha);



✓ **BREEM** (BRE Environmental Assessment Method, UK);



✓ **INIES** (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire, CSTB, entre outros - França);



✓ **epd-norge** (The Norwegian EPD Foundation - Noruega);



✓ **Environdec** (SEMC - Swedish Environment Management Council, Suécia);



✓ **DAPc** (CAATEEB - Col·legi d'aparelladors, arquitectes tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona);



Figura 6 - Sistemas de registo de DAP's, rede europeia (Centrohabitat, 2017)



### 3.4. Análise Ciclo de Vida (ACV)

A Análise do Ciclo de Vida (ACV), em inglês denominada *Life Cycle Assessment* (LCA), é uma ferramenta importante que contribui com informações relevantes na tomada de decisão, analisa impactos ambientais dos produtos, processos ou serviços, e permite a comparação do desempenho dos mesmos.

A ACV tem em conta os impactos nos produtos, processos ou serviços ao longo do seu ciclo de vida, ou seja, desde a sua extração, passando pela produção, transporte, utilização, até chegar ao destino final, contemplando também a reciclagem e a reutilização quando for o caso. Esta Análise surgiu na década de 60, sendo utilizada na década de 70, devido à crise do petróleo, como ferramenta para redução dos custos operacionais, procurando alternativas ao uso de combustíveis fósseis. Só nas décadas seguintes é que esta ferramenta sofreu uma melhoria, através da introdução de modelos económicos e de impactos ambientais. Hoje, esta pode incluir também as variáveis sociais, apresentando assim os três pilares da sustentabilidade (EnCiclo, 2014).

Na Figura 7 encontra-se representado um esquema das fases do ciclo de vida de um produto, que contempla as entradas e as saídas, assim como as possíveis etapas do produto.

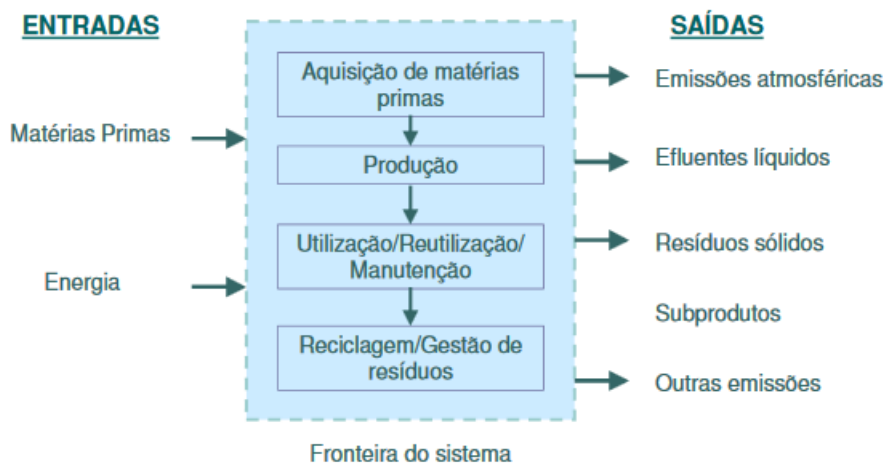


Figura 7 – Fases do ciclo de vida do produto (ISO 14040:2006)

### 3.4.1. Implementação de uma ACV

As etapas da metodologia da ACV, de acordo com a ISO 14040:2006 incluem (Figura 8):

- Definição do objetivo e âmbito;
- Análise de inventário;
- Avaliação de impactes ambientais;
- Interpretação.

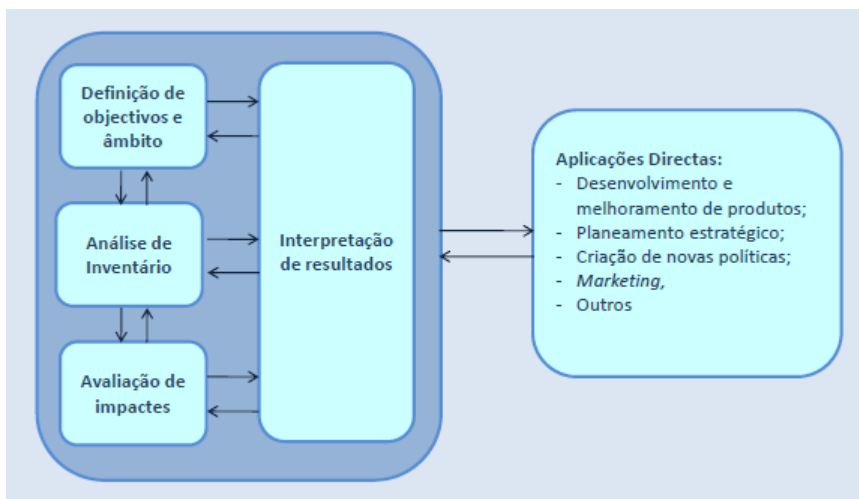


Figura 8 – Etapas da ACV (ISO 14040:2006)

A definição do objetivo e âmbito é a fase onde se descreve o produto, processo ou serviço. Para além disso, é onde se determina o contexto para a realização da avaliação e se definem as fronteiras do estudo. Segundo a Norma ISO 14040:2006 “o objetivo de um estudo ACV deve expor de forma não ambígua a aplicação planeada, as razões para levar a cabo o estudo e a audiência pretendida, i.e., a quem irão ser comunicados os resultados do estudo”.

Na definição do âmbito devem ser considerados e descritos, segundo a norma ISO 14040:2006, os seguintes itens:

- As funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas;
- A unidade funcional;
- O sistema de produto a ser estudado;
- As fronteiras do sistema de produto;
- Procedimentos de afetação;

- Tipos de impacte e metodologia de avaliação de impacte e interpretação subsequente a ser utilizada;
- Requisitos dos dados;
- Pressupostos;
- Limitações;
- Requisitos da qualidade dos dados iniciais;
- Tipo de análise crítica, se aplicável; e
- Tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

A análise de inventário implica a recolha de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relativas a um produto. A nível de entradas podem ser quantificados, por exemplo, a energia e os materiais e a nível de saídas, as emissões para a água, as emissões atmosféricas e os resíduos. Este é um processo iterativo, ao longo da análise, os dados recolhidos podem identificar novos requisitos ou limitações e podem levar a uma mudança nos procedimentos de recolha de dados ou à revisão dos objetivos e âmbito do estudo.

Na fase de avaliação dos impactes, usando os resultados da análise de inventário, é possível avaliar os impactes ambientais gerados através de resultados em unidades comuns.

Na fase final, na interpretação, é feita uma avaliação dos resultados da análise de inventário e da avaliação de impacte, de modo a obter conclusões e as recomendações do estudo.

### **3.4.2. Tipos de Análise Ciclo de Vida**

Os tipos de análise de ciclo de vida podem ser (Figura 9):

- *Cradle-to-cradle* (do berço ao berço);
- *Cradle-to-grave* (do berço ao túmulo);
- *Cradle-to-gate* (do berço ao portão);
- *Gate-to-grave* (do portão ao túmulo).

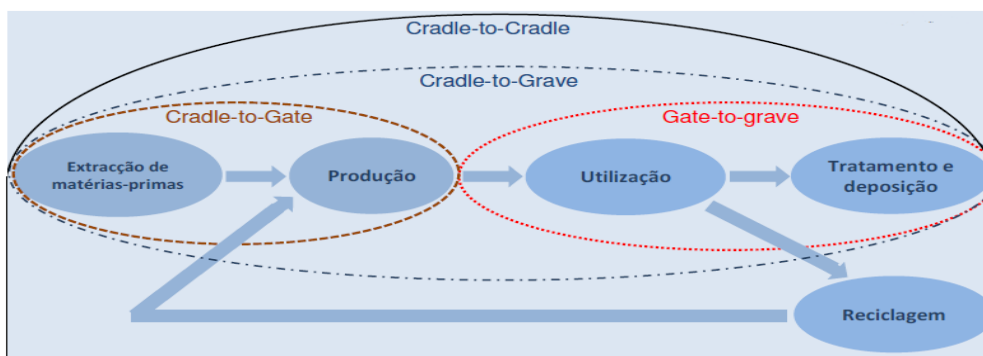


Figura 9 - Tipos de Análise Ciclo de Vida (Bragança e Mateus, 2013)

Na análise *cradle-to-cradle* (do berço ao berço) são consideradas todas as etapas do ciclo de vida do produto, desde a extração de matérias-primas até à sua reciclagem, considerando a sua utilização num novo ciclo de vida. A análise *cradle-to-grave* (do berço ao túmulo) tem em conta todo o ciclo de vida do produto, desde a extração até ao tratamento e deposição, ou seja, até ao fim de vida do produto. Quanto à análise *cradle-to-gate* (do berço ao portão) é tido em conta apenas a extração de matérias-primas e a produção do produto, ficando pronto a utilizar. Por fim na análise *gate-to-grave* (do portão ao túmulo) é considerada a fase de utilização e tratamento e deposição, focando-se mais esta análise na utilização dos produtos.

### 3.4.3. Normas Aplicáveis

As normas utilizadas na análise do ciclo de vida do produto estão representadas na Figura 10 (Bragança e Mateus, 2013) e para além dessas existem as seguintes:

- ISO 14041:1998 – *Life Cycle Assessment. Goal and Scope Definition and Inventory Analysis*. Esta norma define como deve ser bem definido o âmbito de modo a assegurar que a extensão, profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo estabelecido. Da mesma forma, esta norma orienta para a realização da análise de inventário, que envolve a recolha de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto.
- ISO 14042:2000 – *Life Cycle Assessment. Life Cycle Impact Assessment*. Esta norma descreve os elementos essenciais para a estruturação dos dados, a sua caracterização e avaliação qualitativa e quantitativa dos potenciais impactos identificados na análise do inventário.

- ISO 14043:2000 – *Life Cycle Assessment. Life Cycle Interpretation*. A norma define um procedimento sistemático de modo a identificar, qualificar, conferir e avaliar as informações dos resultados do inventário do ciclo de vida ou avaliação do inventário do ciclo de vida, de modo a facilitar a interpretação do ciclo de vida e criar uma base onde as conclusões e recomendações serão materializadas.
- ISO 14044:2006 – *Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines*. Esta norma especifica requisitos, fornece diretrizes para avaliação do ciclo de vida e abrange ainda estudos de avaliação do ciclo de vida e estudos de inventários de ciclo de vida.

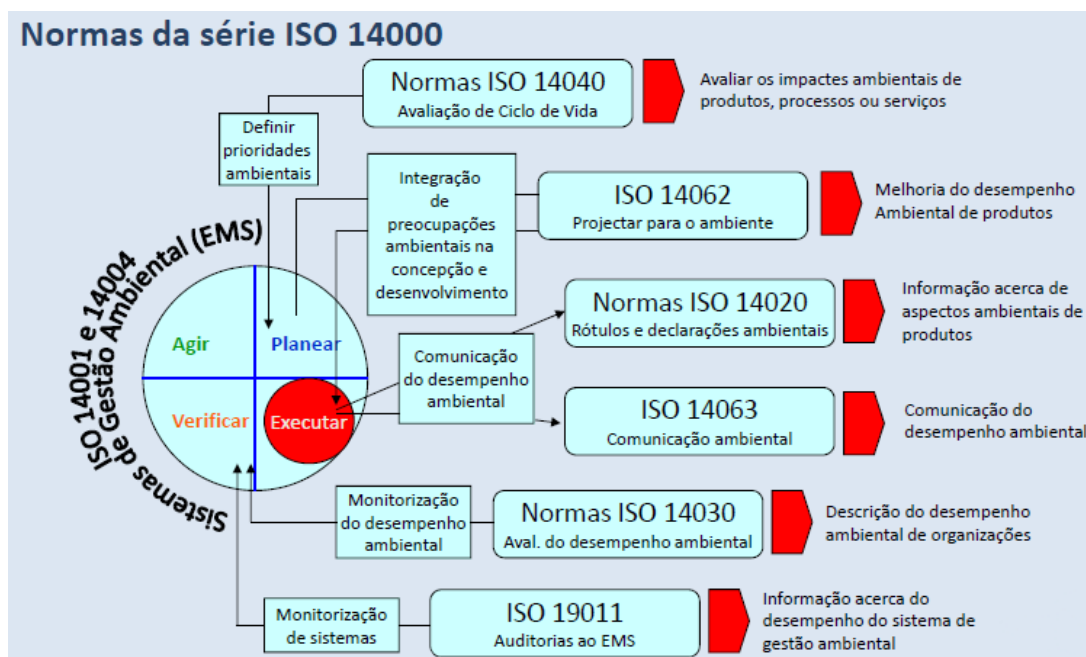


Figura 10 - Normas da Série ISO 14000 (Mateus e Bragança, 2013)

### 3.5. Regras de Categoria de Produto (RCP)

As regras de categoria de produto “são documentos que contêm o conjunto de regras, de requisitos e de linhas de orientação específicas para o desenvolvimento das DAP, tais como: os parâmetros a declarar, as etapas de ciclo de vida a considerar nos processos a incluir, regras para a elaboração de cenários, regras de cálculo do inventário do ciclo de vida e da avaliação de impacte, regras relativas a informações ambientais adicionais, as condições de comparabilidade entre produtos/serviços com base nas informações declaradas nas DAP, outras informações a declarar, questões relacionadas com a verificação e registo das DAP na base de dados do programa” (Sistema DAPHabitat,

2017). As RCP devem ser preparadas para um determinado tipo de produtos que possuam características e funções semelhantes, aos quais possa ser aplicada a mesma unidade funcional.

A RCP para uma determinada categoria de produto deve ser elaborada de modo a que seja aceite a nível internacional, com base num processo aberto, transparente e participativo. Caso não haja nenhum documento RCP que sirva de suporte ao ACV de um produto, deve ser elaborado um novo RCP.

O desenvolvimento de novos RCP deve seguir os procedimentos apresentados na Figura 11.



Figura 11 - Procedimentos para desenvolvimento de novos RCP (Environdec, 2016)

Para a definição de uma RCP deve-se ter em conta as fases definidas na Figura 12, segundo a norma ISO 14025:2006.

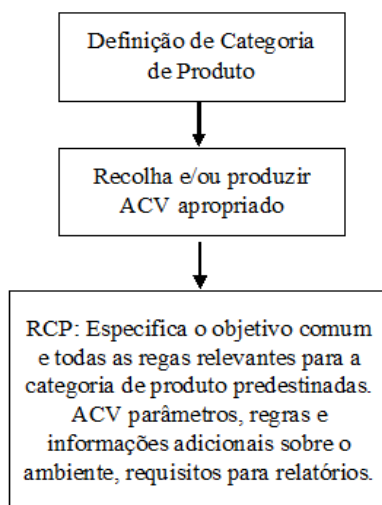


Figura 12 - Etapas para a preparação de documento RCP (ISO 14025, 2006)

### 3.5.1. Normas

Para o desenvolvimento de documentos RCP devem ser realizados de acordo com os procedimentos das seguintes normas nacionais e internacionais:

- NP ISO 14025:2009 – “Rótulos e declarações ambientais – Declarações ambientais Tipo III – Princípios e procedimentos”;
- ISO 21930:2007 – “Building Construction – Sustainability in building construction”;
- NP EN 15804:2012 – “Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products”.

A NP EN 15804:2012 estará na base do desenvolvimento deste trabalho, pois “fornece regras básicas de categoria de produto (PCR) para declarações ambientais Tipo III para qualquer produto de construção e serviço de construção” (NP EN 15804:2012).

## 3.6. Ferramenta e métodos para a avaliação do ciclo de vida

### 3.6.1. *SimaPro*

O *Simapro* é um *programa informático* que permite analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços. Com este *programa informático* pode-se modelar e analisar ciclos de vida complexos de forma transparente e sistemática, medir o impacto ambiental de produtos e serviços em todos os estágios do ciclo de vida e identificar os pontos de acesso em toda a sua cadeia de produção, desde a extração de matérias-primas para a fabricação, distribuição, utilização e eliminação. O *SimaPro*, desenvolvido pela empresa *Pré Consultants*, foi lançado em 1990 e tem utilizadores em mais de 80 países, sendo dos mais utilizados para análise do ciclo de vida. O *programa informático* pode ser utilizado para uma variedade de aplicações, tais como relatórios de sustentabilidade, cálculo da pegada de carbono, *design* de produto, declarações ambientais do produto e determinação de indicadores de desempenho (*Pré-Consultants*, 2011).

Neste momento a versão mais recente é a 8.2.3 de maio de 2015, a qual foi utilizada no presente trabalho de investigação.

### 3.6.2. Métodos de Avaliação de Impacte

Existem vários métodos de avaliação de impacte que são utilizados para calcular os resultados da avaliação do impacte:

**Métodos Europeus:** CML-IA, Ecological Scarcity 2013, EDIP 2003, EPD (2013), EPS 2000, IMPACT 2002+, RECIPE, ILCD 2011 MIDPOINT+;

**Métodos Norte Americanos:** BEES, TRACI 2.1;

**Métodos de Questão Única:** Cumulative Energy Demand, Cumulative Exergy Demand, Ecosystem Damage Potential, Greenhouse Gas Protocol, IPCC 2013, Selected LCI Results, Usetox;

**Métodos Pegada de Água:** Boulay et al 2011 (Human Health), Boulay et al 2011 (Water Scarcity), Ecological Scarcity 2006 (Water Scarcity), Hoekstra et al 2012 (Water Scarcity), Motoshita et al 2011 (Human Health), Pfister et al 2009 (Eco-Indicator 99), Pfister et al 2009 (Water Scarcity), Pfister et al 2010 (Recipe), Berger et al 2014, Wave (Water Scarcity);

**Métodos Substituição:** CML 1992, Eco-Indicator 95, Eco-Indicator 99, Ecopoints 97, EDIP/UMIP 97, IPCC 2001 GWP, IPCC 2007, EPD (2008), Ecological Scarcity 2006, Ecological Footprint.

O método que se destaca é o método europeu CML-IA, que será utilizado na análise do presente trabalho. Este método foi desenvolvido por um grupo de cientistas, sob a liderança do centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden na Holanda. Estes propuseram um conjunto de categorias de impacte e métodos de caracterização para a etapa de avaliação de impacte. Este método é definido para a abordagem do ponto médio, ou seja, orientado para o problema.

O CML-IA fornece uma lista de categorias de avaliação de impacte:

- Categorias de impacte obrigatório (indicadores de categoria usados na maioria das ACVs);
- Categorias de impacte adicionais (existem indicadores operacionais, mas não são frequentemente incluídos nos estudos de ACV);
- Outras categorias de impacte (sem indicadores operacionais disponíveis, portanto impossíveis de incluir quantitativamente em ACV).



A lista de categorias de impacto ambiental a considerar nos estudos de ACV:

- Esgotamento dos recursos abióticos;
- Aquecimento Global;
- Depleção do Ozono Estratosférico;
- Toxicidade humana;
- Ecotoxicidade aquática de água doce;
- Ecotoxicidade marinha;
- Ecotoxicidade terrestre;
- Formação de foto-oxidação;
- Acidificação;
- Eutrofização.

### **3.6.3. Base de Dados**

A tarefa mais exigente na realização de uma ACV é a recolha de dados. O *SimaPro* disponibiliza um conjunto de base de dados que dispõe de informação ambiental genérica para a produção de materiais, assim como informações sobre transporte, energia e gestão de resíduos. No entanto, caso sejam necessários dados mais específicos, é necessário recolhê-los junto dos produtores e modelar o sistema, por exemplo, numa ferramenta de ACV.

As bases de dados que é possível encontrar no *SimaPro* são:

- Ecoinvent;
- Agri-footprint;
- EUA Input Output;
- EU Input Output
- Input Output dinamarquês;
- Input Output suíço;
- ACV alimentos;
- Os dados da indústria.

A base de dados a utilizar será a *Ecoinvent*, pois é uma das fontes de informação mais aceites pelos especialistas em ACV.

A *Ecoinvent* estabelece as bases para o estudo ACV. Contém mais de 13 300 conjuntos de dados de ICV em diversas áreas, tais como o fornecimento de energia, agricultura, transportes, biocombustíveis e biomateriais, produtos químicos a granel e de especialidade, materiais de construção, madeira e tratamento de resíduos. A versão 3 é a mais abrangente e transparente (*Ecoinvent*, 2017). A versão mais recente é a 3.4 lançada a 4 de outubro de 2017.

### **3.7. Bloco de terra compactada (BTC)**

Os blocos de terra compactada são uma evolução do adobe, por estabilização do solo por meios mecânicos, consistindo da prensagem do solo confinado num molde.. Esta prensagem é realizada através de uma prensa acionada de forma manual ou mecanizada, permitindo realizar diversos tipos de blocos, maciços, perfurados e encaixáveis. A aplicação destes blocos é semelhante à do tijolo comum, mas com vantagem para o BTC encaixável, pois permite um menor uso de argamassa no seu assentamento.

Esta técnica surgiu em meados dos anos 50 do século XX na Colômbia. No âmbito de uma investigação, o engenheiro Raul Ramirez desenvolveu um equipamento prático e de dimensões reduzidas denominado por prensa CINVA-RAM que permitiu a rápida produção de materiais para programas de construção habitacional. Esta técnica é utilizada um pouco por todo o lado e é uma das técnicas de construção em terra com maior sucesso (Rigassi, 1985).

#### **3.7.1. Tipos de BTC**

Os blocos de terra comprimida podem adquirir várias formas e tipos, devido aos moldes disponíveis. As características que podem ser alteradas no tipo de blocos são as dimensões, peso, aligeiramentos e formas de travamento. Dada a variedade existente podemos dividir os tipos de blocos em 4 categorias (Figura 13):

- Blocos perfurados: são blocos leves e são adequados à construção de alvenaria armada;

- Blocos com travamento: podem ser utilizados sem utilização de argamassa e em estruturas não resistentes, embora exijam no processo de fabrico moldes mais sofisticados;
- Blocos sólidos: como o nome indica, são blocos sólidos com um formato prismático e têm diversas utilizações;
- Blocos vazados: apresentam cavidades que permitem uma redução do seu peso e uma melhor aderência da argamassa.



Figura 13 – Exemplos de blocos de diferentes categorias (Brlinotech, 2011)

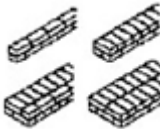
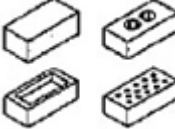

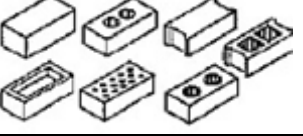
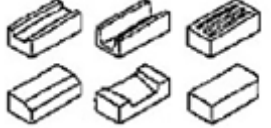
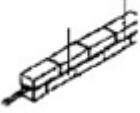
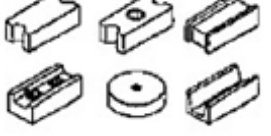




### 3.7.2. Tipos de Alvenaria

Tendo em conta os blocos existentes e apresentados anteriormente, é possível construir os seguintes tipos de alvenarias:

- Alvenaria estrutural;
- Alvenaria de vedação;
- Aplicações especiais;
- Alvenaria armada;
- Sistemas construtivos especiais: ligações justapostas;
- Sistemas construtivos especiais: assentamento a seco encaixável.

Na Tabela 1 estão ilustrados os tipos de alvenaria existentes e os tipos de blocos indicados para a sua execução.

Tabela 1 - Alvenarias de Bloco e Bloco Requerido (Rigassi, 1995)

Usos do BTC	Aplicação	Blocos Requeridos
Alvenaria Estrutural		Blocos sólidos ou perfuráveis 
Alvenaria de Vedação		Blocos sólidos, perfurados ou vazados 
Aplicações especiais	ventilação canais de cabos chanfros decoração abóbodas e arcos	Blocos sólidos ou vazados 
Alvenaria armada		Blocos sólidos, perfurados ou vazados 
Sistemas construtivos especiais: ligações justapostas		Blocos sólidos 
Sistemas construtivos especiais: assentamento a seco encaixável		Blocos com travamento 

### 3.7.3. Produção de BTC's

O processo de produção de BTC's pode ser um procedimento manual ou automático, dependendo das prensas a utilizar. Na Figura 14 pode-se observar uma prensa manual e uma automática. No que diz respeito ao processo manual, este necessita de mais tempo para produção e de mais mão-de-obra, tornando assim este processo mais económico a nível energético. Quanto ao processo automático poderá ser ajustável mediante as quantidades desejadas e serão mais fiáveis do que os prensáveis manualmente, visto que

não dependem tanto do operador. Os blocos fabricados pelas prensas automáticas apresentam maior resistência mecânica, pois existe menor quantidade de vazios e oferecem também maior resistência ao contato com a água.



Figura 14 - Prensa Manual (Mecalux, 2017); Prensa Automática (Alibaba, 2017)

Para a produção de BTC's são necessárias as seguintes etapas:

- Preparação do solo: deve estar seco e peneirado;
- Preparação da mistura: colocação de cimento e cal e/ou resíduos e outros aditivos; mistura-se o solo e vai-se adicionando água gradualmente (quantidades previamente determinadas) até a mistura estar concluída;
- Fabricação dos blocos: coloca-se a mistura nos moldes das prensas e comprime-se. Após a prensagem, os blocos são retirados cuidadosamente e colocados na área de cura;
- Cura: este processo deve ocorrer de forma lenta, de modo a garantir a adequada hidratação do cimento. Podem ser deixados a curar ao sol ou em estufas.

### 3.7.4. Caracterização dos solos

O solo é a camada superficial da crosta terrestre e é constituído por partículas minerais e matéria orgânica proveniente da decomposição de animais e plantas. O material de utilização na construção em terra consiste nas partículas minerais de tamanho variável, nomeadamente as argilas, siltes, material arenoso e seixo (Pacheco Torgal, Eires, Jalali, 2009).

A terra é constituída por matéria gasosa, sólida e líquida:

- Matéria gasosa – É constituída pelo ar, vapor de água e gases que ocupam os vazios entre as partículas sólidas e líquidas;
- Matéria sólida – É constituída pelos minerais, provenientes da desagregação das rochas, com ou sem matéria orgânica. As principais características a observar nos minerais são o tamanho, peso, forma e composição química;
- Matéria líquida – Proveniente da água da chuva, humidade e decomposição da rocha e materiais orgânicos. Está sempre presente nos solos e é responsável por grande parte dos seus comportamentos e propriedades.
- As propriedades fundamentais da terra são:
- Granulometria – Natureza e proporção dos agregados do solo. Os elementos que constituem a parte mineral segundo o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) são:
  - Argila (inferior a 0,002 mm de diâmetro);
  - Silte (0,002 até 0,06 mm de diâmetro);
  - Areia fina (0,06 até 0,2 mm de diâmetro);
  - Areia grossa (0,2 até 2 mm de diâmetro);
  - Seixo (2 a 60 mm de diâmetro).
- Plasticidade – Possibilidade de se moldar sem variação de volume. Depende do teor de humidade do solo e do tamanho e formato das partículas que o compõem;
- Compressibilidade – Propriedade de aumentar ou reduzir os vazios (variação do volume). Depende da estrutura do solo, do teor de humidade e da natureza das partículas;
- Coesão – Resulta da capacidade de interligação dos agregados entre si, sendo a propriedade responsável pela resistência dos solos.

Assim, torna-se fundamental o conhecimento das propriedades do solo, assim como o seu comportamento mecânico e o comportamento à deformação para um determinado nível de humidade. Para isso, é necessário realizar ensaios específicos, podendo eles ser expeditos ou laboratoriais, sendo os expeditos realizados em campo e com baixa fiabilidade e os laboratoriais seguem procedimentos normalizados.

### 3.7.5. Ensaios

#### 3.7.5.1. Ensaios de campo

Este tipo de ensaios permite determinar algumas conclusões iniciais sobre o tipo de solo existente no local de trabalho. Os ensaios que se seguem são uma adaptação de ensaios utilizados pelo grupo francês CRAterre e citados por Eusébio (2001) (Torgal, Jalali, 2015):

- Observação da cor – A cor dos solos depende da sua constituição, uma cor escura indica a presença de matéria orgânica; uma cor amarelada indica a presença de silte e areia; solos com uma cor castanho claro apontam para a presença de argila e solos de cor avermelhada denotam a presença de óxidos de ferro.
- Teste do cheiro – Logo após a extração, é possível identificar se existe presença de matéria orgânica através do forte cheiro a húmus, sendo intensificado pelo aquecimento ou humedecimento do solo.
- Teste do tato – Consiste em esfregar uma amostra de solo entre as mãos. Os solos arenosos são ásperos e não tem coesão quando humedecidos; os solos siltosos apresentam alguma coesão quando humedecidos; os solos com elevadas porções de argila apresentam-se pegajosos e viscosos quando humedecidos e resistentes ao esmagamento quando secos.
- Teste do brilho – Fazendo uma bola com uma pequena quantidade de solo ligeiramente humedecido e posteriormente cortado com uma faca é possível observar se existe predominância de argila (superfície brilhante), ou predominância de silte (superfície opaca).
- Teste de aderência – Na bola de solo usada no teste ao brilho, analisa-se a penetração de uma espátula no mesmo. Se a penetração for difícil e a terra aderir á espátula, trata-se de um solo argiloso. Se for um solo saibroso a espátula entre e sai facilmente.
- Teste de sedimentação – Utilizando um frasco com um litro enche-se ¼ do mesmo com solo e completa-se com água limpa deixando-se repousar cerca de uma hora. Passado esse tempo agita-se o frasco e deixa-se repousar durante mais uma hora e repete-se o processo 2 vezes. Após estes procedimentos, mede-se a espessura das camadas de areia, silte e argila, tendo em conta que o silte e a argila se terão expandido.

- Teste visual por peneiração expedita – Usando solo seco, completamente solto e sem torrões, procede-se à peneiração do mesmo através da passagem pelo peneiro n.º 200 (0,074 mm) e pelo peneiro n.º 10 (2 mm). Por comparação do tamanho dos montículos de solo que passam em cada peneiro pode-se classificar o solo da seguinte forma:
  - O solo será argiloso se o montículo de solo que passou no peneiro n.º 200 (areia e silte), for maior que o montículo retido;
  - Se o montículo que ficou retido for maior que o que passou, pode-se dizer que se está perante um solo arenoso ou pedregoso;
  - A passagem do material no peneiro n.º 10 indica a presença de um solo pedregoso se o montículo de seixos for maior do que o de areia;
  - O solo será arenoso se o montículo de areia for maior do que o de seixos.No caso dos solos arenosos ou pedregosos, faz-se uma bola com o material inicial e coloca-se a secar ao sol. Caso o material ao secar parta, esse solo não deverá ser usado como material de construção.
- Teste de retenção de água – Com o material passado pelo peneiro de 1 mm, faz-se uma bola do tamanho de um ovo e junta-se água de forma a manter o solo ligado sem colar às mãos. De seguida pressiona-se a bola na palma da mão e golpeia-se fortemente com a outra mão.
  - Se forem necessárias 5 a 10 golpes para a água aparecer à superfície e a bola ficar esmigalhada, trata-se de um solo composto por areia fina ou silte grosso;
  - Se forem necessários 20 ou 30 golpes para aparecer a água à superfície e a bola não ficar esmigalhada, trata-se de um silte ligeiramente plástico ou de uma argila;
  - Se não houver nenhuma reação, trata-se de um solo com elevada quantidade de argila.
- Teste de resistência à secagem – Com duas ou três amostras do teste anterior, espalmam-se ligeiramente de modo a ficarem com uma espessura de 1 mm e de 50 mm de diâmetro. De seguida colocam-se estas amostras a secar ao sol. Através do aperto dos discos com o polegar e o indicador podemos classificar o solo como argila se este não se desfizer, como argila arenosa ou siltosa se a amostra se desfizer após algum esforço e como areia se o solo se desfizer facilmente.



### 3.7.5.2. Ensaaios laboratoriais

Os ensaios laboratoriais permitem obter resultados mais rigorosos e confiáveis, contudo é necessária uma maior quantidade de equipamentos e tem custos maiores.

De seguida são apresentados alguns ensaios laboratoriais existentes para a caracterização dos solos (Torgal, Jalali, 2015)::

- Teor de água – Neste ensaio compara-se a massa de uma amostra de solo antes e depois de seca numa estufa com 105°C. Este ensaio segue a norma NP 84:1965;
- Matéria orgânica – Para quantificar a matéria orgânica presente no solo é necessário proceder ao seu aquecimento a 400°C de forma a calcinar a matéria orgânica e através da diferença das massas é possível conhecer a quantidade de material calcinado. Este ensaio tem por base a norma NLT-117;
- Análise granulométrica – O ensaio consiste na identificação das percentagens mássicas da fração arenosa do solo acima de 0,074 mm (peneiro n.º 200 ASTM), obtidas através da peneiração com uma série de peneiros normalizados. A peneiração é efetuada por via húmida para se obter a desagregação das partículas mais finas (LNEC E239-1970). O solo retido em cada peneiro é posteriormente seco em estufa, para apurar a percentagem em relação à massa do provete. Para a identificação dos diferentes constituintes do solo abaixo de 0,074 mm (siltes e argilas), utiliza-se não a peneiração mas o ensaio de sedimentação (LNEC E 196-1966). O solo é colocado em suspensão num líquido, para determinar a velocidade de sedimentação a qual é por sua vez função do diâmetro das partículas, através da lei de Stokes. O ensaio passa pelo enchimento de um frasco até ¼ da sua altura com solo e os restantes ¾ com água, ao fim de várias horas mede-se a espessura das várias camadas, sabendo-se que a primeira camada a ser depositada foi a de saibros, a que se seguindo-se as camadas de siltes e argilas;
- Limites de consistência ou limites de Atterberg – Permitem avaliar a natureza de um solo, definindo os teores em água que limitam os possíveis estados, sólido, líquido ou plástico, definindo respetivamente o limite de retração, o limite de liquidez e o limite de plasticidade (NP 143-1969). Os limites de consistência determinados pela NP 143-1969, compreendem o limite de liquidez (LL), o limite de plasticidade (LP), o índice de plasticidade (Ip) que se obtém da diferença numérica entre os dois anteriores limites (LL-LP) e ainda o limite de retração

(LR). Houben (1989) refere o parâmetro Retração Relativa obtido de acordo com a equação  $RR=(LL-LP)(y_{seca}/y_w)$ . Definem-se limite de liquidez e limite de plasticidade como:

- Limite de liquidez – Corresponde ao teor em água obtido no aparelho Casagrande, que consiste num prato côncavo preenchido com uma pasta de solo, no qual é traçado um rasgo que se volta a unir numa distância de 1 cm após 25 ressaltos;
- Limite de plasticidade – Corresponde ao teor de água de um rolo de terra o qual se separa para um diâmetro de 3 mm. Se o rolo se partir com menos de 3 mm, tem água a mais e a experiência deve repetir-se com menos água. Se o rolo se partir com um diâmetro superior a 3 mm, a experiência deve repetir-se com um teor de água superior.
- Ensaio Proctor – É utilizado para determinar o teor de água ótimo o qual corresponde à máxima compactação do solo (E LNEC 197-1971). Este ensaio utiliza uma fração de solo inferior a 4,76 mm (peneiro n.º 4) ao qual se adicionam teores de água crescentes com diferenças de 2%, a qual é compactada em 3 camadas com 25 pancadas por camada, de um aparelho manual (2,49 kg e queda de 30,5 cm) ou mecânico. Regista-se a massa e o volume e, num gráfico, marca-se a massa volúmica seca versus teor de água, onde posteriormente se retira o teor de água ótimo que corresponde à baridade máxima. Uma vez realizada a caracterização geotécnica do solo, muitas vezes verifica-se que as propriedades do mesmo não são adequadas, sendo necessário proceder à sua estabilização de forma a melhorar as suas características, tanto de resistência como de durabilidade;
- Ensaio de resistência à compressão simples – Esta análise é idêntica à análise efetuada para betões, tijolos ou outros materiais. O ensaio consiste em levar à rotura um provete, por aumento da carga axial. Este ensaio é determinado pela norma ASTM 2166:2000.

### **3.7.6. Estabilização dos solos**

Sendo o solo um material complexo, por vezes não apresenta as características desejadas para a construção, em termos de comportamento mecânico, índice de coesão e/ou retração e, por isso, é necessário recorrer à estabilização do mesmo de modo a melhorar as suas

propriedades. A definição de estabilização do solo é, portanto, “qualquer processo que melhora as propriedades de um solo permitindo desempenhar a sua função na engenharia” (Rix, 1998).

Segundo Moreira (2008), os métodos para a estabilização de solos para a construção em terra subdividem-se em três:

- Estabilização física – Consiste na mistura de partículas com diferentes composições e granulometria, de modo a alterar a composição do solo. Nos BTC as formas mais comuns de estabilização física passam pela adição de fibras ou de um determinado agregado. É também possível obter os mesmos resultados através de tratamentos térmicos e elétricos. Estes métodos incluem técnicas como a electro-osmose, a utilização de sobrecargas temporárias, técnicas de aquecimento ou congelamento, ou o recurso a drenos verticais;
- Estabilização mecânica – Consiste na aplicação de energia mecânica no solo, sobre a forma de compactação, reduzindo a quantidade de vazios existente e aumentando a sua compacidade. Pode ser necessário adição de água ou correção da composição granulométrica do solo. Esta estabilização tem como objetivo aumentar a resistência do solo ao corte, a sua durabilidade, a sua deformabilidade e a resistência à ação da água;
- Estabilização química – Consiste na introdução de produtos químicos que alteram as características da terra através de reações químicas. Nos BTC este método é o que mais contribui para ganhos de resistência e durabilidade, sendo utilizado também o método de estabilização mecânica devido à compactação e prensagem do solo. Os estabilizadores químicos mais utilizados são:
  - Cimento – O cimento é o estabilizador mais usado na construção de edifícios e na melhoria dos solos, devido às suas características mecânicas, de durabilidade e de compatibilidade com vários tipos de solo.  
Apesar de ser compatível com vários tipos de solo, a utilização do cimento apresenta-se vantajosa em solos mais arenosos do que argilosos.  
A melhoria dos solos com cimento provém da mistura do solo com cimento e água em medidas pré-estabelecidas, sendo de seguida a mistura colocada numa prensa de modo a compactar o solo e ficando posteriormente a hidratar em condições de humidade adequadas de modo a obter endurecimento progressivo. A reação de hidratação do cimento cria

um gel insolúvel, com capacidades de dispersão e de ligação, ocupando assim os poros existentes e ligando as partículas de solo. A percentagem de cimento utilizada na estabilização varia entre 5% e 7% no caso das siltes, 7% e 15% no caso das areias e 4% em cascalhos;

- Cal – O uso da cal como estabilizador de solos já vem de tempos do antigo Egito e dos impérios Romano e Grego. A estabilização de solos com cal é feita através de duas reações, a reação de modificação, de início instantâneo quando em contato com a água e a reação de carbonatação, que se prolonga no tempo. A primeira reação envolve troca imediata de cátions e a floculação e pode estender-se de minutos a dias. A segunda fase ocorre devido às reações pozolânicas que são responsáveis pelo aumento da resistência mecânica das misturas de solo-cal e podem-se prolongar de meses a anos. A cal é utilizada com vista a melhorar solos argilosos e tem como valor mínimo de utilização 2%, seguindo-se 6% como valor médio e 10% como valor máximo;
- Pozolanas – Como utilização de pozolanas tem-se, por exemplo, as cinzas volantes que são um subproduto resultante da fusão e calcinação de impurezas minerais incombustíveis contidas no carvão que foi queimado. As cinzas são importantes para o processo de ativação alcalina, porque são constituídas por dióxido de silício, óxido de ferro e óxido de alumínio. Exibem também atividade pozolânica reagindo com água, com hidróxido de cálcio e com alcali obtendo assim capacidade de presa. A ativação alcalina ou geopolimerização apresenta-se como uma técnica inovadora com enormes potencialidades. Permite incorporar todo o tipo de resíduos ricos em sílica e alumina na obtenção de bases ligantes, estas matrizes cimentícias aumentam a capacidade de confinamento de resíduos tóxicos radioativos, metais pesados, entre outros. (Teixeira Pinto, 2002).

### **3.7.7. Normalização**

Devido às circunstâncias atuais, a preferência por técnicas consolidadas em betão e aço, prevalece em relação à construção em terra em muitos países, inclusive em Portugal, onde os métodos de produção deste tipo de elementos ainda se processam de forma primitiva

e antiquada, baseados principalmente no saber empírico das gerações anteriores, e não no conhecimento científico atual (Oliveira, 2014).

No entanto, existem alguns países como a Austrália, Nova Zelândia e Estados Unidos da América que têm desenvolvido regulamentos de forma a normalizar a construção em terra, tentando eliminar as suas limitações e demonstrar as suas vantagens. Assim, o interesse e o desenvolvimento da construção em terra está em contínua expansão, sendo possível referir o caso de países como a Espanha, que apresentando um parque edificado semelhante ao português, começa a ir de encontro às necessidades que têm vindo a surgir, com a criação de novos regulamentos para a utilização da terra como material de construção (Oliveira, 2014).

A Norma Espanhola UNE 41410:2008, menciona que a terra destinada à construção de BTC deve ser constituída por areia, silte, argila e cascalho, misturada com água e com estabilizantes opcionalmente. Caso sejam usados estabilizadores como cimento, cal ou gesso, a percentagem de uso deve ser no máximo 15% da massa seca do BTC.

A Norma Australiana HB 195:2009 é mais detalhada e recomenda uma série de ensaios expeditos e laboratoriais para caracterização do solo. É definida também a possibilidade de estabilização de solos com cimento, cal, betume e com aditivos químicos e com fibras (Gomes, 2013).

O Regulamento Norte-Americano designado por “*New Mexico Earthen Building Materials Code*” aborda três técnicas de construção em terra, o adobe, BTC e taipa. Este regulamento só é aplicado em edifícios no máximo de dois pisos, abordando análise sísmica da construção em taipa, assim como as dimensões de paredes, características dos materiais a utilizar e a realização de ensaios (Novo México, 2003). Aborda também a utilização de vigas de bordadura e vigas de fundação, como as ligações entre os vários elementos estruturais (Gomes, 2013).

A Nova Zelândia, é o país a nível mundial que tem um contexto normativo mais completo sobre a construção em terra, estando dividido em 3 normas: NZS 4297:1998, NZS 4298:1998 e NZS 4299:1998; e abordando as três técnicas de construção em terra: taipa, BTC e adobe. A norma NZS 4297:1998 exige alguns conhecimentos de engenharia e tem limites e regras impostas relacionadas com: área do piso, limitação do número de pisos,

altura máxima das paredes, peso da cobertura, largura e dimensão dos vãos, espaçamento entre aberturas, lintéis, vigas de bordadura e de fundação em todas as paredes. A NZS 4298:1998 aborda os aspetos relacionados com o material a utilizar na construção, sendo abordados também temas como a durabilidade dos materiais, comportamento térmico, resistência ao fogo, ligações e pormenores construtivos. A NZS 4299:1998 regula construções que não necessitam de projeto de dimensionamento específico (Gomes, 2013)

Na Tabela 2 são apresentadas as normas oficiais e regulamentação resumidas, na Tabela 3 são apresentados os documentos normativos e na Tabela 4 são documentos técnicos, segundo Delgado (2007).

Tabela 2 - Resumo de Normas, documentos normativos e técnicos da construção em terra (Gomes, 2015)

Grupo	País	Documento	Técnicas	Ano	Conteúdo
Normas oficiais e regulamentação	EUA	NMAC 14.7.4	A, BTC, T	2000	Pequenas recomendações. Unidades de construção devem ser testadas.
	França	XP P 13-901	BTC	2001	Ábacos de plasticidade e granulometria. Avaliação do solo
	Nova Zelândia	NZS 4297	A, BTC, T	1998	Recomendações não quantitativas acerca dos solos que não devem ser usados. Teste de seco/molhado necessário.
		NZS 4298		1998	-
		NZS 4299		1998	-
	Peru	NTE E 080	A	2000	Pequenas recomendações sobre a granulometria.
	Região de África	ARSO	BTC	1996	Ábacos de plasticidade e granulometria. Enumera e classifica os testes ao solo, mas não explica procedimentos.
	Zimbabué	SAZS 724	T	2001	Recomendações para a granulometria, sais matéria orgânica e teste da fita

Tabela 3 - Documentos normativos (Gomes, 2015)

Grupo	País	Documento	Técnicas	Ano	Conteúdo
Documentos normativos	Alemanha	Lehmbau Regeln	A, BTC, T	1999	Conjunto de recomendações técnicas para a construção em terra.
	Austrália	HB 195	A, BTC, T	2002	Enumeração dos testes empíricos e laboratoriais, com procedimentos definidos para alguns ensaios. Recomendação de granulometria para cada técnica.
		Bulletin 5		1992	Recomendações gerais sobre a granulometria Observações do desempenho do património edificado.
		EBAA		2001	Recomendações não quantitativas acerca dos solos a não usar
	Espanha	MOPT	A, BTC, T	1992	Adequabilidade acerca de usar os testes sensoriais para tomar decisões. Testes laboratoriais aconselháveis para escolha da granulometria.
		UNE 41410	BTC	2008	Indica definições e procedimentos de ensaio para realizar ensaios laboratoriais
		CYTED	A, BTC, T	1995	Não define uma aproximação direta à seleção dos solos, recomendações dependem da resistência a seco dos ensaios

Tabela 4 – Documentos técnicos (Gomes, 2015) (continua)

Grupo	Autor	Documento	Técnicas	Ano	Conteúdo
Documentos técnicos	Houben and Guillaud	-	A, BTC, T	1994	Propriedades essenciais: granulometria, plasticidade, compactação e coesão.
					Testes de identificação preliminares e laboratoriais são explicados.
					Ábacos de granulometria, plasticidade compactação
	Rigassi V	-	BTC	1995	Granulometria, plasticidade e compatibilidade, identificação dos solos laboratorialmente e sensorialmente.
	Mc. Henry PG	-	A, T	1984	Escolha de solos que tem bom desempenho em construções existentes

Tabela 4 – Documentos técnicos (Gomes, 2015) (conclusão)

Grupo	Autor	Documento	Técnicas	Ano	Conteúdo
Documentos técnicos	Smith and Aus-tin	-	A, BTC, T	1996	Identificação e seleção de solos não são dadas muita importância. Testar provete é a melhor solução
	OIA	-	A, BTC, T	1970	Adequabilidade acerca de usar os testes sensoriais para tomar decisões
	Spence and Cook	-	A, BTC, T	1983	Conhecer essencialmente as propriedades: tamanho das partículas, limites de Atterberg, compactação e classificação de solos, apesar de não darem as recomendações.

No Tabela 5 encontram-se apresentadas as características geométricas dos BTC de acordo com a regulamentação de cada país.

Tabela 5 - Características geométricas dos BTC (continua)

Documento	País	Geometria (mm)			
		Altura	Largura	Comprimento	
NZS 4298	Nova Zelândia	96	140	295	
ARS 674	Região de Africa	90	140	295	
		95			
Lehmbau Regeln	Alemanha	Definido pelo fabricante			
HB 195	Austrália	75	110	225	
		90	140	295	
		100	250	380	
		125			
UNE 41410	Espanha	Definido pelo fabricante			
NBR 8491	Brasil	50	95	200	
		50	110	230	
140		90	390		
		140			
		190			
NC 103	Camarões	90	140	295	
		95			
IS 1725	Índia	9	9	19	
		4	9	19	
		9	19	29	
IS 13827			110	250	380
				380	



Tabela 5 - Características geométricas dos BTC (conclusão)

Documento	País	Geometria (mm)		
		Altura	Largura	Comprimento
MS 777	Malawi	55	65	190
		75	90	
		80	90	290
		90	140	
		105	140	390
		125	190	
FDUS 849	Uganda	55 a 65	75	200
		75 a 90	100	
		80 a 95		150
		100 a 115	150	
		105 a 120		200
		125 a 140	200	

### 3.7.8. Características técnicas do BTC

#### 3.7.8.1. Resistência à compressão

A resistência à compressão depende de vários fatores, como o tipo de solo utilizado, a percentagem de estabilizador, o teor de humidade a pressão de compactação, a geometria do próprio bloco e o procedimento do ensaio.

Na Tabela 6 é possível encontrar valores para a resistência à compressão do BTC, com estabilização e sem estabilização, indicados por vários autores.

Tabela 6 - Resistência à compressão (continua)

Resistência à compressão					
Autor	Estabilizador	Teor humidade	Idade (dias)		
			7	21	28
Walker (1995)	5 a 10% Cimento	Saturado	-	-	2,13 – 3,62
		Seco			3,45 – 6,81
Ngowi (1997)	S/Estabilizador	Seco	-	-	1,80
	7,5% Cimento				6,00
	7,5% Cal				3,10
Kerali (2001)	7 a 9% Cimento	Saturado	-	-	4,57-6,54
		Seco			7,33-9,66
Krosnowski (2011)	6% Cimento	Saturado	3,10-3,59	-	2,21-4,75
Namango (2006)	S/Estabilizador	Seco	-	-	4,80
	5 a 9% Cimento				3,51-5,97
Lourenço (2002)	8% Cimento	Seco	-	-	2,00-5,00
		Saturado			0,20

Tabela 6 - Resistência à compressão (conclusão)

Resistência à compressão					
Autor	Estabilizador	Teor humidade	Idade (dias)		
			7	21	28
Elenga (2011)	S/Estabilizador	Ambiente (NR)	2,80-3,30	-	3,30-3,50
Bahar et al. (2004)	S/Estabilizador	Seco	1,20	-	1,60
	6 a 10% Cimento	Seco	2,50-3,10		3,10-4,10
		Saturado	-		1,60-2,00
Motta (1997)	7% Cimento	Seco	-	1,08	-
	7% Cal	Seco		2,90	
Miguel Rocha (2017)	S/Estabilizador	Seco	-	-	2,90-5,90
		Saturado			1,47-2,90
	C/Estabilizador	Seco			4,90-6,90
		Saturado			2,90-3,40

Analisando a Tabela 6, pode-se verificar que, para percentagens de cimento entre os 5 e 10%, os valores médios da resistência à compressão seca estão entre 4,30 e 6,30 MPa e no estado saturado estão entre 2,30 e 3,40 MPa. Quanto aos blocos sem estabilizador a resistência média no estado seco é de 2,88 e 3,52 MPa.

### 3.7.8.2. Resistência à tração por flexão

Os BTC's são fabricados para trabalhar à compressão. No entanto é sempre importante possuírem alguma resistência à tração, pois podem estar sujeitos a esses esforços ao longo da sua vida útil. Através de assentamentos das fundações ou cargas concentradas nas paredes é possível aparecerem esforços de tração nos BTC. Os fatores que afetam a resistência à tração são os mesmos que afetam a resistência à compressão.

Tal como acontece com a resistência à compressão, a resistência à tração depende do tipo de ensaio. Idealmente a resistência à tração de um material de construção (BTC ou não) deveria ser obtido através do ensaio de tração axial. No entanto, este ensaio não é viável devido às dificuldades de aplicação de forças de tração axial sem introduzir excentricidades. Portanto, recorre-se geralmente a ensaios de tração indiretos, nomeadamente por flexão ou por compressão diametral (Silva, 2015).

Na Tabela 7 apresentam-se os valores relativos à resistência à tração por flexão, resultantes de diferentes estudos.

Tabela 7 - Resistência à tração por flexão (Silva, 2015)

Resistência à tração por flexão				
Autor	Estabilizador	Teor Humidade	Idade	Resultado $f_{ctm}$ (MPa)
Walker (1995)	5% Cimento	Saturado	28	0,19
	6,7% Cimento			0,34
	10% Cimento			0,52
Namango (2006)	S/Estabilizador	Seco	28	0,99
	5% Cimento			0,75
	9% Cimento			1,57
Muntohar (2011)	S/Estabilizador	Equilíbrio	28	0,20
Krosnowski (2011)	6% Cimento	Saturado	28	0,51
Elenga (2011)	S/Estabilizador, fibras de plástico	Equilíbrio	28	1,57

A Tabela 8 apresenta valores para a resistência à tração por compressão diametral.

Tabela 8 - Resistência à tração por compressão diametral (Silva, 2015)

Resistência à tração por compressão diametral				
Autor	Estabilizador	Teor Humidade	Idade	Resultado $f_{ctm,ap}$ (MPa)
Arabani et al. (2007)	6% Cal	Seco	2	0,210
Bahar et al. (2004)	S/Estabilizador	Seco	28	0,240
	4% Cimento			0,500
	8% Cimento			0,740
Taallah et al. (2014)	8% Cimento e fibras	Seco	28	1,600
Hossain et al. (2007)	S/Estabilizador	Saturado	28	0,015
	4% Cimento			0,096
	4% Cal			0,068

O estudo da resistência à tração dos BTC é geralmente efetuado sobre blocos com incorporação de fibras (estabilização física) sendo esta a forma mais simples e eficaz de aumentar a resistência à tração (Medjo Eko et al., 2012; Namango, 2006; Taallah et al., 2014).

### 3.7.8.3. Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica ( $\lambda$ , expressa em W/m.K ou W/m.°C) é uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogêneos, e que representa a quantidade de calor (expressa em W por unidade de área - m<sup>2</sup>) que atravessa uma espessura unitária (m) de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (1°C ou 1 K). (ITE50 - LNEC, 2006)

Na Tabela 9 apresentam-se valores para a condutibilidade térmica para os BTC's, apresentados por vários autores.

Tabela 9 - Condutibilidade térmica do BTC (Silva, 2015 e Rocha, 2017)

Condutibilidade Térmica		
Autor	Estabilizador	(W/m.K)
Lourenço (2002)	8 % Cimento	0,81-0,93
	12 a 19% Cal	0,81-0,93
	S/Estabilizador	0,81-0,93
Adam et al. (1995)	5% Cimento	0,41-0,51
	6% Cal	0,25-0,46
Kerali (2001)	-	0,23-1,04
Sampaio et al. (2014)	S/Estabilizador	0,50
Rocha (2017)	S/Estabilizador	0,87
	C/Estabilizador	0,81-0,93

A condutibilidade térmica dos BTC depende da composição (solo e estabilizador), massa volumica e teor de humidade dos blocos (Bahar et al., 2004; Kerali, 2001; Riza et al., 2010).

A humidade dos blocos poderá ter um papel significativo na sua condutibilidade térmica pois a água tem uma condutibilidade térmica cerca de 25 vezes superior à da terra. (Ashworth, 1991).

Através dos valores apresentados na Tabela 9, pode verificar-se que, para percentagens de cimento de 5% a 10% os valores médios da condutibilidade térmica estão entre 0,67 e 0,79 W/m.K. Para percentagens de cal entre os 6% e os 19%, os valores médios da condutibilidade térmica encontram-se entre os 0,53 e 0,70 W/m.K. Quanto aos blocos sem estabilizador, estes possuem valores entre 0,72 e 0,77 W/m.K.

Uma das mais interessantes características das paredes de terra tem que ver não com o seu nível de isolamento térmico, mas sim com a sua elevada inércia térmica, ou seja, com a sua capacidade para armazenar e gerir o calor que recebe seja de fontes solares, ou de outras, com resposta diferida temporalmente. A questão da inércia térmica das paredes de terra é contudo um tema que merece ainda ser objeto de aprofundadas investigações (Pacheco Torgal, Eires, Jalali, 2009).

### 3.7.8.4. Absorção de água

Para analisar a absorção de água dos BTC, é realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade, estudando o comportamento do BTC face à ascensão da água por capilaridade. Neste ensaio é medida a quantidade de água que é absorvida pelo bloco em função do tempo, determinando assim o coeficiente de capilaridade.

Sabe-se que o BTC tem uma boa ligação com a água, atraindo a mesma para as suas partículas de solo e ficando retida no seu interior por algum tempo. A absorção de água resulta na desagregação de aglomerados de argila (e silte) não estabilizados e possivelmente na sua remoção (Kerali, 2001; Walker, 1995).

Na Tabela 10 apresentam-se valores para a absorção de água dos BTC's, apresentados por diferentes autores.

Tabela 10 - Absorção de água dos BTC's (Silva, 2015 e Rocha, 2017)

Absorção de Água					
Autor	Estabilizador	Tempo Ensaio	Resultados		
			7 dias	14 dias	A(%)
Hossain et al. (2007)	S/Estabilizador	10 min	12,20	20,70	-
	4% Cimento		8,10	13,80	
	4% Cal		9,20	15,60	
Bahar et al. (2004)	4% Cimento	10 min	12,70	28,90	13,70
	8% Cimento		-	-	15,00
	10% Cimento		11,20	29,00	16,60
Cid-Falceto (2012)	Cimento	10 min	5,75	-	13,60
	Cimento Branco		17,20		11,80
	Cal + Cânhamo		23,35		43,80
Ngowi (1997)	5 a 10% Cimento	24 h	-	-	8,50-7,03
	5 a 10% Cal				10,99-11,26
Taallah et al. (2014)	5 a 8% Cimento	24 h	-	-	10,10-9,30
		48 h			10,30-9,50
Kerali (2001)	5 a 9% Cimento	24 h	-	-	9,90-7,00
	5 a 9% Cimento + 5% Cal				12,40-9,40
Rix (1998)	4% Cal	24h	-	-	Desagregou
	6% Cimento + 4% Cal				9,90
	8% Cimento + 4% Cal				9,50
	7% Cimento + 7% Cal				8,60
Rocha (2017)	S/Estabilizador	72 h	-	-	8,00-12,00
	C/Estabilizador	72 h			8,00-10,00

### 3.7.8.5. Redução Sonora

Quanto à redução sonora, ou isolamento acústico, o BTC tem um desempenho bastante elevado comparativamente com soluções construtivas tradicionais.

Na Tabela 11 encontram-se apresentados alguns valores do índice de redução sonora do BTC, segundo alguns autores.

Tabela 11 - Redução sonora do BTC (Pacheco Torgal, Eires, Jalali, 2009 e Rocha, 2017).

Redução Sonora		
Autor	Parede	Isol. Acústico
Rocha (2017)	45 cm	56 dB
Lourenço (2002)	40 cm	60 dB
	20 cm	50 dB
Delgado & Guerrero (2006)	50 cm	58 dB
Morton (2008)	13 a 36,50 cm	46 a 57 dB
Dobson (2000)	30 cm	57 dB

Tendo em conta que o índice de isolamento aos sons aéreos de uma parede dupla de tijolo cerâmico (11+15) é de aproximadamente 50 dB, comparando estes valores com os da Tabela 11 pode-se verificar que uma parede de BTC possui um bom isolamento acústico.

### 3.7.8.6. Profundidade de erosão

Segundo Heathcote (1995) o principal mecanismo responsável pela erosão das paredes de terra tem que ver com a energia cinética do impacto das chuvas nas paredes feitas com aquele material. Para analisar este efeito no BTC são realizados ensaios de gotejamento ou de erosão acelerada. Na Tabela 12 e 13 é possível analisar resultados desses mesmos ensaios reportados por vários autores.

Tabela 12 - Profundidade de erosão por gotejamento (Silva, 2015)

Profundidade de erosão por gotejamento					
Autor	Solo	Altura de queda (mm)	Carga da água (mm)	Tempo de exposição (min)	Resultados (mm) Profundidade de erosão
Cid-Falceto (2012)	Blocos Industriais Espanha	1000	1500	20	4,3
				10	7,0
Galindez (2009)	Argilosos Arenosos 13,4	2000	2000	60	4,7
	Argilosos Arenosos 7,5				5,0
	Argilosos Arenosos 15,8				8,0
Silva et al. (2013)	Arenoso Siltoso (IP:11)	400	460	20-60	3,0

Tabela 13 - Profundidade de erosão acelerada (Silva, 2015)

Profundidade de erosão acelerada						
Autor	Solo	Pressão da Água (KPa)	Distância (mm)	Tempo de exposição (min)	Estabilizador	Resultados (mm) Profundidade de erosão
Cid-Falceto (2012)	Blocos Industriais Espanha	50	470	60	S/Estabilizador	Rotura
					Cimento	Sem danos
					Cal e cânhamo	12,50
		147	180	120	S/Estabilizador	Rotura
					Cimento	Sem danos
					Cal e cânhamo	17,75
Exelbirt (2011)	Arenoso argiloso 13%	2070	510	15-60	7% Cimento	0,13-0,64
					5% Cimento e 7% Cal	17,78-21,58
		4140	510		7% Cimento	0,51-0,89
					5% Cimento e 7% Cal	20,32-25,40
Rix (1998)	Muito argiloso 82% IP:35	70	470	15-60	4% Cal	20,00 - Rotura
					6% Cimento e 4% Cal	9,00-15,00
					8% Cimento e 4% Cal	7,00-10,00
					7% Cimento e 7% Cal	6,00-8,00





## **4. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO**

### **4.1. Enquadramento**

Neste capítulo serão explanados os procedimentos para desenvolvimento de uma DAP, tendo por base a norma NP EN 15804:2012, orientando os leitores para a maneira de como se desenvolve uma DAP e quais os procedimentos e processos necessários.

Para iniciar é necessário definir o produto ou o grupo de produtos a estudar e qual o tipo de DAP a utilizar, sendo que nem todas permitem a comparação com produtos semelhantes.

Para avaliar os impactes ambientais é necessário definir as etapas do ciclo de vida do produto, sendo obrigatório nos três tipos de DAP as etapas do ciclo de vida berço ao portão, que abrange a extração de matérias-primas, o transporte e a produção.

Dependendo do tipo de avaliação a considerar, é necessário definir unidades, fronteiras e a análise de inventário.

Tendo em conta que não é obrigatória a introdução de todas as fases do ciclo de vida na elaboração de uma DAP, deve-se no entanto considerar as mesmas em forma de cenários devidamente fundamentados.

A verificação e validação de uma DAP, que é o processo final, é efetuada por entidades independentes e apenas após essa verificação é que se poderá publicar e usar a DAP em causa.

### **4.2. Tipos de DAP de acordo com as etapas de ciclo de vida consideradas**

Na Tabela 14 são apresentados os elementos obrigatórios e opcionais mediante os módulos de informação e os estágios de ciclo de vida.

Tabela 14 – Módulos e Estágios do Ciclo de Vida e Elementos Obrigatórios e Opcionais (NP EN 15804:2012)

Módulo	Estágios do Ciclo de Vida	Tipo de DAP		
		Do berço ao portão <sup>1</sup>	Do berço ao portão, com opções <sup>2,4</sup>	Do berço ao túmulo <sup>3,4</sup>
<b>A1-A3 - Etapa de Produto</b>	<b>A1</b> - Extração e processamento de matérias-primas	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
	<b>A2</b> - Transporte para o fabricante	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
	<b>A3</b> - Produção de produtos	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
<b>A4-A5 - Etapa de Construção</b>	<b>A4</b> - Transporte para a obra	-	Opcional	Obrigatório
	<b>A5</b> - Processo de Construção e Instalação	-	Opcional	Obrigatório
<b>B - Etapa de Utilização</b>	<b>B1</b> - Utilização do produto, serviço ou equipamento	-	Opcional	Obrigatório
	<b>B2</b> - Manutenção	-	Opcional	Obrigatório
	<b>B3</b> - Reparação	-	Opcional	Obrigatório
	<b>B4</b> - Substituição	-	Opcional	Obrigatório
	<b>B5</b> - Reabilitação	-	Opcional	Obrigatório
	<b>B6</b> - Consumo de energia em fase de operação	-	Opcional	Obrigatório
	<b>B7</b> - Uso de água em fase de operação	-	Opcional	Obrigatório
<b>C - Etapa de Fim de Vida</b>	<b>C1</b> - Demolição do produto ou da construção	-	Opcional	Obrigatório
	<b>C2</b> - Transporte dos resíduos	-	Opcional	Obrigatório
	<b>C3</b> - Tratamento de resíduos para reutilização, recuperação ou reciclagem	-	Opcional	Obrigatório
	<b>C4</b> - Eliminação dos resíduos	-	Opcional	Obrigatório
<b>D - Benefícios e Cargas ambientais para além da Fronteira do Sistema</b>	<b>D</b> - Potencial de reutilização, valorização e reciclagem	-	Opcional	Obrigatório

Existem três tipos de Declarações Ambientais do Produto com base nas Regras de Categoria de Produto da Norma NP EN 15804:2012, tal como indica a Tabela 15.

Tabela 15 - Tipos de Declarações Ambientais (NP EN 15804:2012)

<b>Tipo DAP</b>	<b>Fases do Ciclo de Vida</b>	<b>Unidades</b>	<b>Comparação</b>
<b>Do berço ao portão</b>	Cobre as fases do ciclo de vida A1-A3 (extração e processamento de matérias-primas, transporte para o fabricante e produção de produtos). Esta fase compreende o mínimo de processos que deve ser exigido numa declaração em conformidade com a norma NP EN 15804:2012	Unidade declarada	Não podem ser usadas para comparação
<b>Do berço ao portão com opções</b>	Cobre informações do estágio de uso assim como do fim de vida B1 até C4. Benefícios e cargas ambientais (Módulo D) também podem ser incluídos.	Unidade declarada ou unidade funcional	Podem ser usadas para comparação, sujeito a condições como indicado na NP EN 15804:2012, cláusula 5,3
<b>Do berço ao túmulo</b>	Cobre todas as fases do ciclo de vida, incluindo fim de vida ou além do período de estudo. Benefícios e cargas ambientais (Módulo D) também podem ser incluídos.	Unidade funcional	Podem ser usadas para comparação, sujeito a condições como indicado na NP EN 15804:2012, cláusula 5,3

1 - Para uma unidade declarada

2 - Para uma unidade declarada ou unidade funcional

3 - Para uma unidade funcional

4 - Vida Útil de Referencia deve ser introduzida se todos os cenários forem incluídos

#### 4.3. Comparabilidade das DAP de Produtos de Construção

Com base na norma NP EN 15804:2012 podem-se comparar produtos num ciclo de vida completo (do berço ao túmulo) ou a nível de produção (do berço ao portão). Para o ciclo de vida completo a comparação do desempenho ambiental de produtos de construção só deve ser realizada utilizando a mesma unidade funcional, baseando-se na utilização e nos impactos no edifício. Quanto ao ciclo de vida etapa do produto, também pode ser comparado, desde que esteja de acordo com as condições impostas na norma NP EN 15804:2012 e desde que as performances técnicas e funcionais dos produtos a comparar sejam idênticas (NP EN 15804:2012).

## **4.4. Regras de Categoria e Produto para ACV**

### **4.4.1. Etapas do Ciclo de Vida e Módulos de Informação a ser incluídos**

A informação ambiental de uma DAP abrange todas as fases do ciclo de vida (do berço ao túmulo) e estão subdivididas em grupos de módulos de informação (Tabela 15).

No entanto, como já mencionado anteriormente e segundo a norma NP EN 15804:2012, apenas é necessário declarar os módulos A1 e A3 da etapa de produto para desenvolver uma DAP.

### **4.4.2. Unidade Funcional**

A unidade funcional permite a quantificação do desempenho do produto, sendo a unidade de referência para entradas e saídas do sistema. Esta unidade permite a comparabilidade de produtos diferentes, com a mesma função. A unidade funcional a considerar para a ACV do produto deve ser precisa e objetiva de modo a que não haja ambiguidades.

Segundo a norma NP EN 15804:2012, a unidade funcional deve-se basear na (NP EN 15804:2012):

- Quantificação, característica de desempenho do produto quanto integrado num edifício e o equivalente funcional da construção;
- Vida útil de referência do produto ou do edifício (VUR) durante um período relevante.

Exemplo: 1 m<sup>2</sup> de tijolo cerâmico para parede interior, com vida útil de referência de 50 anos.

### **4.4.3. Unidade Declarada**

A unidade declarada é utilizada em vez da unidade funcional quando a função exata do produto ou dos cenários ao nível do edifício não são indicados ou são desconhecidos.

A unidade declarada pode ser do tipo (NP EN 15804:2012):

- Massa (ton), por exemplo, uma tonelada de tijolo;

- Área (m<sup>2</sup>), por exemplo, um metro quadrado de parede;
- Comprimento (m), por exemplo, um metro de tubagem;
- Volume (m<sup>3</sup>), por exemplo, um metro cúbico de betão;
- Item (uni), por exemplo, um radiador.

#### **4.4.4. Unidades**

Devem ser utilizadas as unidades SI. As exceções são as seguintes (NP EN 15804:2012):

- Recursos utilizados na entrada de energia (kWh ou MJ);
- Uso de água em metros cúbicos (m<sup>3</sup>);
- Temperatura em graus Celsius (C°);
- Tempo (minutos, horas, dias, anos);
- Transportes (Ton. e km)

#### **4.4.5. Vida Útil de Referencia (VUR)**

A vida útil de referência (VUR) depende do desempenho funcional do produto, da fase de construção, e das condições de referência da fase de utilização. A VUR deve ser fornecida pelo fabricante, assim como o número de operações de manutenção, remodelação ou substituição. Tudo isto deve ser tido em conta na DAP (NP EN 15804:2012).

#### **4.4.6. Fronteiras do Sistema**

As fronteiras do sistema indicam quais os módulos de informação, assim como as etapas do ciclo de vida que devem ser incluídos na ACV que fundamenta a DAP. Ou seja, para uma DAP que abrange todas as fases do ciclo de vida (do berço ao túmulo) devem ser indicadas todos os grupos de módulos de informação (A1 - A3, A4 - A5, B1 - B5, B6 - B7, C1 - C4, e módulo D se incluído), dando assim à DAP melhores condições de comparabilidade com outra DAP de um produto semelhante. Nas DAP do berço ao portão, apenas os módulos da etapa de produto são obrigatórios, sendo os restantes (utilização, construção, fim de vida e benefícios e cargas ambientais) opcionais, devendo ser descritos e reconhecidos separadamente (Tabela 14) (NP EN 15804:2012).

Na Tabela 16 é apresentado um exemplo de dados a considerar no módulo A3 da etapa do produto, numa DAP do berço ao portão (RCP – Unidades de Alvenaria, 2015):

Tabela 16 - Exemplos de dados – Módulo A3 (NP EN 15804:2012)

<b>Tijolo Cerâmico</b>	<b>Tijolo de Betão</b>
Preparação de pasta	Mistura homogénea
Extrusão	Prensagem
Secagem	Secagem e cura controlada
Cozedura em forno túnel	Escolha, embalagem e armazenamento
Escolha, embalagem e armazenamento	

#### **4.4.7. Etapa de Produto (Obrigatória) – A1-A3 (RCP – Modelo Base, 2015)**

A etapa de produto é composta por três módulos, a extração e processamento de matérias-primas, o transporte para o fabricante e por fim a produção de produtos.

Para esta etapa do ciclo de vida, deve-se ter em conta algumas considerações):

- A etapa de produto está completa com a finalização do produto pronto para entrega (incluindo embalamento);
- A emissão de calor residual não necessita de ser declarada, estando considerada indiretamente no consumo de energia;
- Os resíduos da produção que são reintroduzidos no processo produtivo substituem matérias-primas primárias e têm por isso de ser incluídos dentro dos limites do sistema (ciclo fechado). Não são contabilizados como material secundário;
- Benefícios e cargas alocados a coprodutos não podem ser declarados no módulo D. Como uma regra geral adota-se que os benefícios e cargas resultantes do módulo A1-A3 não devem ser considerados no módulo D;
- A energia útil obtida a partir da valorização energética de resíduos de produção gerada nos módulos A1-A3 pode ser considerada em ciclo fechado dentro do módulo A1-A3, mas só até ao montante de energia (MJ) que é necessário para a produção (pressuposto: a etapa de produto, A1-A3, é considerada como um módulo). Para a energia que excede a quantidade consumida em ciclo fechado deve ser efetuada uma alocação económica entre os fluxos de energia excedente e o fluxo de produto;

- Os módulos A1, A2 e A3 são tipicamente declarados como um agregado A1 - A3, mas podem ser declarados separadamente;
- Toda a energia utilizada em fábricas e escritórios de apoio ao fabrico estão incluídas, caso se trate de escritórios de vendas ou sedes estarão excluídos.

**A1 - Extração e processamento de matérias-primas:**

- Extração e processamento de matérias-primas, e o processamento de entrada de material secundário, por exemplo, os processos de reciclagem;
- Reutilização de produtos ou materiais de sistemas produtivos anteriores;
- Processamento de materiais secundários usados como entradas no fabrico de produtos, mas excluindo os processos que são parte do processamento de resíduos em sistemas produtivos anteriores;
- Produção de eletricidade, vapor e calor a partir de recursos energéticos primários, incluindo a sua extração, refinação e transporte;
- Recuperação de energia ou outro processo de recuperação a partir de combustíveis secundários, mas não incluindo os processos que são parte do processamento de resíduos em sistemas produtivos anteriores.

**A2 - Transporte para o fabricante:**

- Transportes até ao portão da fábrica e transportes internos.

**A3 – Produção de produtos:**

- Produção de materiais auxiliares e pré-produtos (se aplicável);
- Produção de produtos e de coprodutos;
- Fabrico das embalagens (se aplicável).

**A1-A3:**

- Processamento de resíduos até ao fim do estatuto de resíduo ou seu destino final, incluindo qualquer embalagem não associada com a saída do produto.

#### **4.4.8. Etapa de Construção (Opcional) – A4-A5 (RCP – Modelo Base, 2015)**

A etapa de construção inclui dois módulos de informação - o transporte para a obra e o processo de construção ou instalação no edifício. Esta fase inclui também o processamento de resíduos até ao fim do estatuto de resíduo ou o seu destino final.

##### **A4 – Transporte para obra:**

- O transporte considerado é desde o portão da fábrica até ao local de construção ou instalação. Deve efetuar uma estimativa do transporte e incluir transportes para distribuidoras, lojas, etc.

##### **A5 – Processo de construção e instalação:**

- Instalação do produto no edifício ou em outros trabalhos de construção, incluindo a produção e o transporte de materiais auxiliares e qualquer energia ou água necessária à instalação ou operação do local de construção. Inclui também as operações no estaleiro relativas ao produto.

##### **A4-A5:**

- Resíduos de produtos de construção;
- Armazenamento dos produtos, incluindo o fornecimento de aquecimento, arrefecimento, controlo de humidade, entre outros;
- Processamento de resíduos resultantes das embalagens dos produtos e perdas de produto até ao fim do estatuto de resíduo ou destino final.

#### **4.4.9. Etapa de Utilização (Opcional) – B (RCP – Modelo Base, 2015)**

A etapa de utilização inclui sete módulos de informação que vão desde a utilização do produto/equipamento/edifício até à sua demolição ou desconstrução. Esta etapa inclui ainda os módulos de manutenção, reparação, substituição, reabilitação, consumo de energia em fase de operação e consumo de água.

A duração da etapa de utilização relativa ao produto/equipamento/edifício poderá ser diferente à da vida útil de referência para o qual foi projetado.



Os módulos de informação desta etapa encontram-se agrupados consoante a sua especialidade, não invalidando a sua fragmentação, caso se verifique deve ser declarada e fundamentada na DAP. O grupo de módulos B1-B5 estão relacionados com os componentes da construção e o grupo B6-B7 estão relacionados com a exploração da construção.

#### **4.4.9.1. Componentes da Construção – B1-B5 (RCP – Modelo Base, 2015)**

##### **B1 – Utilização do produto, serviço ou equipamento:**

Este módulo abrange os aspetos e impactes ambientais associados a componentes do edifício ou outros trabalhos de construção, durante a sua utilização prevista.

##### **B2 – Manutenção:**

O módulo de manutenção abrange informação de todas as intervenções técnicas e administrativas durante o tempo de vida útil do produto, de modo a que o mesmo se mantenha nas condições adequadas de utilização e funcionamento. As manutenções poderão ser preventivas ou regulares, como por exemplo a limpeza, assistência planeada, correção ou reparação de partes gastas ou danificadas. O consumo de energia e água utilizados na limpeza devem ser considerados neste módulo e não no B6 ou B7. Neste módulo deve-se também considerar a produção e transporte de produtos auxiliares necessários, assim como o transporte e gestão de resíduos produzidos provenientes dos vários tipos de manutenção.

##### **B3 – Reparação:**

Este módulo consiste na compilação de aspetos e impactes ambientais provenientes do tratamento corretivo ou reativo de um produto de construção ou das suas partes instaladas no edifício ou na obra de construção para que retome a condição necessária para desempenhar a sua função. Este módulo engloba ainda a prevenção e reparação das qualidades estéticas do produto. A troca de um componente danificado deve ficar agregada a este módulo enquanto a substituição total do elemento deve ser atribuída ao módulo substituição. Neste módulo deve-se também considerar a produção e transporte

de produtos auxiliares necessários, assim como o transporte e gestão de resíduos produzidos provenientes dos vários tipos de reparação

#### **B4 – Substituição:**

No módulo substituição são considerados os aspetos e impactes ambientais provenientes da substituição de um produto de construção, de modo a que o mesmo retome a sua condição de desempenho técnico e funcional para que foi criado, através da substituição total de um elemento de construção. No caso de ser substituído todo o elemento de construção, deve ser considerado como reabilitação. Neste módulo deve-se também considerar a produção e transporte de produtos auxiliares necessários, assim como o transporte e gestão de resíduos produzidos provenientes da substituição do produto de construção.

#### **B5 – Reabilitação:**

Este módulo abrange todas as atividades técnicas e administrativas, associadas ao retorno de uma parte significativa ou de todo o edifício, a um estado que lhe permita assegurar as funções requeridas. As atividades de restauro devem ser consideradas neste módulo. Neste módulo deve-se também considerar a produção e transporte de produtos auxiliares necessários, assim como o transporte e gestão de resíduos produzidos provenientes do plano concertado de manutenção, uma atividade de reparação e/ou de substituição.

### **4.4.9.2. Exploração da Construção – B6-B7 (RCP – Modelo Base, 2015)**

#### **B6 – Consumo de energia em fase de operação:**

Este módulo deve incluir, de acordo com a NP EN 15804:2012, a energia consumida durante o funcionamento do produto (sistema técnico integrado do edifício, assim como os aspetos e impactes ambientais que lhe estão associados, incluindo o processamento e o transporte dos resíduos gerados no estaleiro pela utilização da energia. Os sistemas técnicos integrados do edifício incluem os sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação, produção de águas quentes sanitárias e outros sistemas como o saneamento, a proteção, segurança contra incêndios, transporte interno e outros de acordo com a norma NP EN 15804:2012. Os aspetos relacionados com a produção, transporte e instalação dos equipamentos requeridos para fornecer energia ao edifício devem ser atribuídos aos módulos A1-A5. A energia consumida durante as atividades de

manutenção, reparação, substituição ou reabilitação dos equipamentos devem ser incluídas nos módulos B2-B5. Os aspetos relacionados com o processamento de resíduos e à remoção final dos equipamentos devem ser atribuídos aos módulos C1-C4.

**B7 – Consumo de água em fase de operação:**

O módulo consumo de água em fase de operação deve incluir a água consumida durante o período desde a entrega do edifício ou da obra de construção até à desconstrução ou demolição do edifício. Este módulo inclui os aspetos e impactes ambientais associados ao consumo de água, considerando o ciclo de utilização da água, incluindo a produção e transporte de água, a coleta e o tratamento de águas residuais. Os sistemas técnicos integrados do edifício que suportam o funcionamento do mesmo incluem o aquecimento, o arrefecimento, a iluminação, a ventilação, as águas quentes sanitárias e outros sistemas como o saneamento, a proteção, segurança contra incêndios, transporte interno e outros de acordo com a norma NP EN 15804:2012.

**4.4.10. Etapa de Fim de Vida (Opcional) – C (RCP – Modelo Base, 2015)**

A etapa fim de vida do produto de construção tem início quando este é substituído, desmontado ou desconstruído e não apresenta qualquer outra funcionalidade. Esta pode também iniciar-se no fim de vida do edifício, mediante a escolha do cenário de fim de vida do produto.

Durante a fase de fim de vida do produto ou do edifício, todas as saídas resultantes da desmontagem, da desconstrução ou da demolição do edifício, dos processos de manutenção, de reparação, de substituição ou de reabilitação, todos os detritos, todos os produtos de construção, materiais ou elementos de construção, etc., saindo do edifício são primeiramente considerados como resíduos. No entanto, estas saídas atingem o fim do estatuto de resíduo quando preenchem o conjunto dos seguintes critérios (NP EN 15804:2012):

- O material, produto ou elemento de construção recuperado é geralmente utilizado para fins específicos;
- Existe um mercado ou uma procura, para tal material, produto ou elemento de construção recuperado;

- O material, produto ou elemento de construção recuperado satisfaz as exigências técnicas para as utilizações específicas e respeita a regulamentação e as normas existentes aplicáveis aos produtos;
- A utilização do material, produto ou elemento de construção recuperado não terá impactos globais negativos sobre o ambiente ou a saúde humana.

A fronteira de fim de vida do sistema em relação ao módulo D é fixada no ponto onde as saídas, isto é, os materiais ou combustíveis secundários, atingem o fim do estatuto de resíduo.

#### **C1 – Demolição do produto ou da construção:**

O módulo demolição do produto ou da construção inclui a desmontagem ou demolição do produto presente a construção, incluindo a separação inicial dos materiais no estaleiro.

#### **C2 – Transporte dos Resíduos:**

Este módulo inclui o transporte dos resíduos para uma instalação de reciclagem ou o transporte para a sua eliminação final.

#### **C3 – Tratamento de resíduos para reutilização, recuperação ou reciclagem:**

Este módulo inclui a recolha de frações de resíduos provenientes da desconstrução e o processamento dos resíduos de fluxos de materiais destinados a reutilização, a uma reciclagem e a uma recuperação de energia. O processamento dos resíduos deve ser modelado e os fluxos elementares devem ser incluídos no inventário. Note-se que os materiais para a recuperação de energia, são materiais que atingiram o estado de fim de resíduos e são usados num processo de recuperação de energia com uma taxa de eficiência de energia (do processo) maior que 60%, respeitando a regulamentação existente. Os materiais que permitam uma recuperação de energia com uma eficiência inferior a 60% não são considerados como materiais destinados à recuperação de energia.

#### **C4 – Eliminação dos Resíduos:**

O módulo eliminação dos resíduos inclui todo processo de eliminação incluindo o pré-tratamento físico dos resíduos que não podem ser recuperados ou reutilizados e a gestão do local de eliminação. As cargas (por exemplo, emissões) induzidas pela eliminação dos resíduos no módulo C4 são consideradas como fazendo parte do sistema de produto em

estudo. Contudo, se este processo gera energia, tal como o calor e a energia gerados pela incineração ou a colocação em aterro dos resíduos, os benefícios potenciais ligados à utilização desta energia no sistema de produto seguinte são atribuídos ao módulo D e são calculados utilizando os processos de substituição considerando valores médios correntes.

#### **4.4.11. Benefícios e Cargas Ambientais Para Além da Fronteira do Sistema (Opcional) – D (RCP – Modelo Base, 2015)**

Este módulo refere-se aos benefícios ou às cargas para o ambiente geradas pelos produtos reutilizáveis, os materiais recicláveis e/ou os transportadores de energia saindo para o exterior de um sistema de produto, por exemplo, sob a forma de materiais ou combustíveis secundários. Este módulo permite o reconhecimento do conceito de reutilização, reciclagem e recuperação utilizado na construção, através da indicação dos potenciais benefícios evitados com a futura utilização de materiais e combustíveis primários, considerando as cargas associadas aos processos de reciclagem e recuperação para além do sistema do produto em estudo.

Consideram-se essenciais as seguintes considerações (RCP – Modelo Base, 2015):

- Todos os benefícios e cargas líquidos declarados resultantes de fluxos líquidos, saindo do sistema de produto que não foram atribuídos como coprodutos e que atingiram o fim do estatuto de resíduo, devem ser incluídos no módulo D (ver ponto 6.3.4.6 da NP EN 15804:2012);
- Os impactos evitados associados a coprodutos atribuídos não devem ser incluídos no módulo D;
- Para receber os benefícios resultantes da reciclagem/ processamento adicional do produto no módulo D, o tratamento do produto deve ser declarado no módulo C;
- No Módulo D também são considerados os benefícios resultantes da energia exportada a partir de processos de eliminação de resíduos declarados no módulo C4 (ver NP EN 15804:2012, ponto 6.4.3.3, Nota 1);
- No módulo D devem ser declarados os danos ambientais (valor líquido) evitados resultantes dos fluxos que saem do sistema (ou seja, principalmente a partir dos módulos A5 e C3) menos os fluxos que entram no sistema (ou seja, principalmente do módulo A1). Na Figura 15 estão definidos os princípios do módulo D.

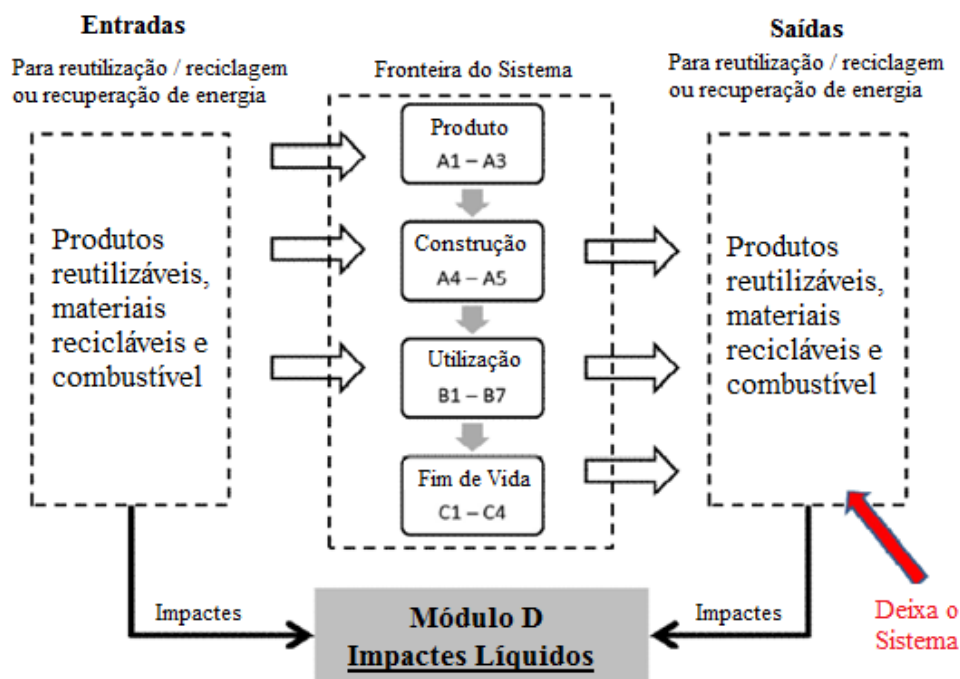


Figura 15 - Princípios Módulo D (NP EN 15804:2012)

#### 4.5. Critérios de Exclusão

Os critérios de exclusão de entradas e saídas do estudo ACV, de módulos de informação e de qualquer outra informação adicional, estabelecem os fluxos de material e energia, associados a um sistema de produto, que se pode excluir. Para muitos processos, um grande número de substâncias e materiais são usados em quantidades muito pequenas e é irrealista reunir dados sobre todos eles. No entanto, é importante que os efeitos ambientais significativos não sejam omitidos ignorando a baixa massa de fluxos de materiais e energia.

Caso existam lacunas ou os dados sejam insuficientes, o critério de exclusão deve ser 1% do total de energia consumida e 1% da massa total das entradas. No entanto, o total de fluxos de energia e massas a ser negligenciados não pode ultrapassar 5% por cada módulo de informação. Sempre que se recorra aos critérios de exclusão estes devem ser fundamentados em considerações ou pareceres de peritos. Para fluxos de energia e massa com potencial de causar impactes ambientais significativos não se podem utilizar os critérios de exclusão (NP EN 15804:2012).

## 4.6. Seleção de Dados

Sempre que possível devem ser utilizados dados reais e específicos dos processos unitários, ou dados médios obtidos a partir de processos de produção específicos. Podem utilizar-se dados genéricos presentes em bases de dados representativas de estudos de ACV, no caso da ausência de dados específicos e sempre que esses sejam representativos para a finalidade.

Além disso aplicam-se as seguintes regras (NP EN 15804:2012):

- Uma DAP descrevendo um produto específico deve ser calculada utilizando dados específicos pelo menos para os processos sobre os quais o produtor tem influência. Podem ser utilizados dados genéricos para os processos sobre os quais o produtor não pode exercer influência, por exemplo a extração de matérias-primas ou a produção de eletricidade, muitas vezes designados como dados a montante;
- Uma DAP específica cobrindo todas as etapas do ciclo de vida (do berço ao túmulo) poderá ser calculada utilizando dados genéricos para certos processos a jusante, por exemplo a incineração dos resíduos. Por razões de comparabilidade o cálculo da etapa de utilização deve ser baseado na informação técnica adicional (NP EN 15804:2012);
- A informação técnica adicional para a elaboração de cenários das etapas do ciclo de vida do edifício deve ser informação específica ou informação média específica quando um produto médio ou uma classe de produto são declarados;
- A documentação relacionada com a representatividade tecnológica, geográfica e temporal relativa aos dados genéricos deve ser fornecida no relatório de projeto;
- Uma DAP média descrevendo um produto médio ou uma classe de produto deve ser calculada utilizando os dados médios representativos dos produtos declarados na DAP.

A Tabela 17 contém informação sobre a aplicação de dados genéricos e dados específicos indicando quando se devem utilizar os mesmos.

Tabela 17 - Aplicação de dados genéricos e dados específicos (NP EN 15804:2012)

Módulos	A1 – A3		A4 e A5	B1 – B7	C1 – C4
	Produção de bens e matérias-primas	Produção	Instalação	Utilização	Fim de vida
<b>Tipo de processo</b>	A montante	Processo sobre os quais o produtor tem influência	A jusante		
<b>Tipo de dados</b>	Dados genéricos	Dados médios ou específicos/reais	Dados genéricos		

Os dados genéricos podem ser obtidos:

- Em bases de dados de ACV, nomeadamente *European Life Cycle Database* (ELCD) promovida pela Comissão Europeia e outras como *Ecoinvent*, *GaBi*;
- Em outras fontes (por exemplo: modelos estequiométricos, patentes, valores limite legais, normas técnicas, enciclopédias, ou dados de outros programas de registo de DAP).

#### 4.7. Requisitos da Qualidade dos Dados

De acordo com a norma ISO 14044:2006, a qualidade dos dados utilizados para calcular uma DAP deve ser abordada no relatório do projeto. Além disso, aplicam-se os seguintes requisitos específicos para produtos de construção indicados na NP EN 15804:2012:

- Os dados de inventário devem ser representativos e o mais atualizados possível. No caso dos dados genéricos não deverão ter mais de 10 anos e os dados específicos não deverão ter mais de 5 anos;
- O conjunto de dados compilados deve referir-se a uma média de um ano (se forem utilizados outros períodos de referência tal deve ser devidamente justificado);
- O período de tempo, durante o qual as entradas e saídas do sistema devem ser contabilizados, é de 100 anos, a contar do ano para o qual o conjunto de dados é representativo. Só deve ser considerado um período de tempo superior caso seja relevante;
- A representatividade tecnológica deve refletir a realidade do produto ou da classe de produto declarada;
- Para uma DAP média, incluindo várias unidades de produção, a abrangência geográfica deve representar os dados médios ou gerais da região onde se encontra(m) o(s) unidade(s) de produção;



- O conjunto de dados a utilizar deve ser completo de acordo com a fronteira do sistema definida;
- As saídas, por exemplo as emissões, que não foram alvo de medições contínuas, podem ser recolhidas através de medições individuais representativas. Estas medições devem ser executadas no mesmo ano de referência como os dados de energia e fluxo de materiais recolhidos e devem ser executadas com valores representativos do(s) produto(s). Caso não existam medições, é permitido por via técnico-científica que as emissões possam ser estimadas por meio de equações estequiométricas;
- Acidentes e incidentes extraordinários não têm de ser considerados.

#### **4.8. Desenvolvimento de cenários ao nível do produto**

No caso de serem consideradas na ACV outras etapas além da etapa de produto (A1–A3), a avaliação do desempenho ambiental do produto nessas etapas deve ser suportada por cenários apropriados, os quais deverão ser pormenorizadamente descritos na DAP.

Os cenários devem suportar a avaliação do desempenho ambiental de um edifício no decurso das fases do seu ciclo de vida “construção, utilização, fim de vida”. Devem ser fornecidos apenas para a avaliação ambiental e baseado na informação técnica relevante definida da norma NP EN 15804:2012.

Um cenário deve ser realista e representativo de uma das alternativas mais prováveis. Os cenários não devem incluir processos ou procedimentos que não são de uso corrente ou que não se demonstrou serem viáveis.

##### **Por exemplo:**

- Cenário de transporte A4: Transporte da porta da fábrica até á obra. O produto será transportado num camião que respeita a norma Euro 4 com uma capacidade de carga de 25 t. A distância média percorrida será de 100 km. Não será considerada a viagem de volta.
- Cenário de utilização B1: Relativamente à utilização, o produto será limpo periodicamente (por exemplo, uma vez por semana em usos domésticos, uma vez

por dia em uso comercial), devendo ser consultado o intervalo de tempo indicado pelo fabricante.

#### **4.8.1. Importações**

As entradas e saídas atribuídas às importações de matérias-primas, materiais acabados e produtos são, sempre que possível, baseadas em análises apropriadas para o país de origem e incluem a energia de transporte. Quando os dados para o país de origem não estão disponíveis, os dados de entrada e saída são baseados no produto mais comparável (produzido a nível nacional ou internacional) com uma adição feita para o transporte do país de origem.

### **4.9. Análise de Inventário**

A análise de inventário consiste na recolha e cálculo de dados para a quantificação das entradas e saídas relevantes do sistema de produto.

#### **4.9.1. Recolha de dados**

Os dados a recolher para o inventário podem ser medidos, calculados ou estimados, e quantificam as entradas e saídas de um processo unitário. Todos os dados a considerar no inventário devem ser recolhidos para cada processo unitário considerado na fronteira do sistema e podem ter diferentes fontes, pelo que é necessário documentar a origem dessas fontes e o seu ano de referência. No caso da recolha de dados genéricos devem ser referenciadas as fontes utilizadas (RCP – Modelo Base, 2015).

#### **4.9.2. Procedimento de cálculo**

Todos os procedimentos de cálculo e pressupostos devem estar documentados e devem ser aplicados de forma coerente ao longo do estudo, segundo os requisitos e linhas de orientação descritos na ISO 14044:2006.

### **4.9.3. Regras de alocação**

A alocação deve ser evitada através da divisão do processo unitário a ser alocado em dois ou mais subprocessos, de forma a incluir as funções adicionais relacionadas com os coprodutos.

Quando não é possível evitar a alocação, esta deve ser efetuada com base (norma NP EN 15804:2012):

- Nas propriedades físicas (por exemplo, massa e volume) quando a diferença de receitas geradas pelos coprodutos é baixa (inferior a 9%). A alocação volumétrica apenas poderá ocorrer quando todos os coprodutos têm densidades reais ou aparentes idênticas;
- Em todos os outros casos a alocação deve ser baseada em valores económicos;
- Os fluxos de materiais que apresentam propriedades inerentes específicas (por exemplo, conteúdo energético e composição elementar) devem ser sempre alocados de forma a refletir os fluxos físicos, seja qual for a alocação selecionada para o processo.

Os procedimentos de alocação utilizados devem ser devidamente especificados, justificados e documentados. Não é permitida a dupla contagem ou a omissão de entradas e saídas através da aplicação das regras de alocação.

### **4.9.4. Alocação em caso de reutilização, reciclagem e recuperação**

O procedimento de alocação relativamente a estes processos deve ser efetuado de acordo com a norma NP EN 15804:2012, seguindo-se algumas considerações:

#### **Materiais secundários:**

- A recolha e triagem de resíduos devem ser alocadas ao sistema de eliminação de resíduos do sistema de produto anterior.

#### **Produção de resíduos:**

- A produção de resíduos para a qual pode ser alcançada uma receita de vendas deve ser considerada como um coproduto;

- A produção de resíduos sem valor de mercado deve ser tratada como resíduo, mesmo se transferida para processos externos de reciclagem ou recuperação de energia;
- Os resíduos de embalagens gerados na produção e que têm de ser depositados, devem ser tratados como resíduos, mesmo se transferidos para um processo externo de reciclagem ou valorização energética;

#### **Resíduos em obra:**

- Resíduos do estaleiro de obras que retornam ao local de produção são considerados como ciclo fechado e não precisam de qualquer alocação. No caso de resíduos que substituem materiais estão incluídos na análise de inventário;
- Resíduos do estaleiro de obras que não tem valor de mercado devem ser calculados como resíduos, mesmo se transferidos para processos externos de reciclagem ou recuperação de energia. Não devem constar do módulo D;
- Resíduos de embalagens provenientes de outros módulos que não os A1-A3 devem ser calculados como resíduo. Em nenhum caso, os benefícios poderão ser atribuídos para a substituição por outras fontes energéticas.

#### **Resíduos de demolição:**

- Para a reutilização e reciclagem de materiais de construção após a etapa de fim de vida não se deve usar o procedimento de ciclo fechado. Benefícios e cargas de reciclagem são atribuídos ao módulo D.

### **4.10. Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)**

A avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) estima potenciais impactos ambientais, utilizando os resultados do inventário do ciclo de vida do produto (ICV). Esta avaliação reúne os dados do inventário com categorias específicas de impacto ambiental e com indicadores de categorias para se compreender os impactos.

De acordo com a norma NP EN 15804:2012, as categorias de impacto a considerar são:

- Aquecimento global;
- Depleção da camada de ozono;
- Acidificação dos recursos hídricos e do solo;

- Eutrofização;
- Oxidação fotoquímica;
- Depleção de recursos abióticos (elementos);
- Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis).

No Relatório de Projeto devem apresentar-se e justificar-se os seguintes conteúdos relativamente à Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida do produto em estudo:

- Procedimentos de AICV, cálculos e resultados do estudo;
- Relação dos resultados da AICV e dos resultados do ICV;
- Referência a todos os modelos de caracterização, fatores de caracterização e métodos utilizados;
- Menção referindo que os resultados da AICV são expressões relativas e não prenunciam os impactos finais por categoria, o exceder de valores-limite, as margens de segurança ou os riscos.

#### **4.11. Conteúdo de uma declaração ambiental de produto (DAP)**

Uma DAP deve declarar informações gerais relativas ao programa de registo e à organização requerente. De acordo com a norma NP EN 15804:2012 uma DAP deve ser conter a seguinte informação:

- O nome e a morada do(s) produtor(es);
- A descrição da utilização do produto de construção, a unidade funcional ou declarada a que se referem os dados e padrões de desempenho relevantes;
- A identificação do produto de construção pelo seu nome (por exemplo, incluindo qualquer código de produto) e uma representação visual simples do produto de construção a que se referem os dados;
- Descrição das principais características técnicas do produto, de modo a permitir que o utilizador da DAP entenda a composição do produto e assegure a eficaz instalação, uso e descarte do produto;
- O nome do programa utilizado, o nome e morada do operador do programa, o logótipo e a página da internet;
- A data de publicação da declaração e o período de validade de 5 anos;

- A informação a indicar quais as etapas não consideradas e se a declaração não é baseada numa ACV abrangendo todas as etapas do ciclo de vida;
- Uma declaração indicando que as DAP de produtos de construção de diferentes programas poderão não ser comparáveis se não estiverem em conformidade com a NP EN 15804:2012 e com o RCP;
- Quando uma DAP é declarada como desempenho ambiental médio para um certo número de produtos, deve ser incluída uma declaração nesse sentido, acompanhada de uma descrição da gama/variabilidade dos resultados da AICV;
- O(s) local(ais), o produtor ou o grupo de produtores ou seus representantes para os quais a DAP é representativa;
- A declaração do conteúdo em materiais do produto deve pelo menos enumerar as substâncias contidas no produto que constam na “Lista das substâncias que suscitam elevada preocupação candidatas à autorização” quando o seu conteúdo ultrapassa os limites para registo pela Agência Europeia dos Produtos Químicos;
- A informação indicando onde obter elementos explicativos;
- Demonstração de verificação da DAP, de acordo com a ISO 14025:2006, como indica a Tabela 18.

Tabela 18 – Critérios para a demonstração da verificação de uma DAP (NP EN 15804:2012)

A Norma NP EN 15804:2012 serve como núcleo de PCR <sup>a</sup>	
Verificação independente da declaração de acordo com a norma EN ISO 14025:2010 <input type="checkbox"/> Interno <input type="checkbox"/> Externo	
(Onde apropriado <sup>b</sup> ) Verificação de Terceiros: <Nome do verificador de terceiros>	
<sup>a</sup> Regras de categoria de produto <sup>b</sup> Opcional para comunicação entre empresas; Obrigatório para a comunicação entre empresas e consumidores (ver EN ISO 14025:2010, 9.4)	

#### 4.11.1. Declaração dos parâmetros ambientais derivados da ACV

As informações relacionadas com o desempenho ambiental do produto têm como suporte o estudo de ACV, definindo-se (NP EN 15804:2012):

- A unidade funcional ou unidade declarada;
- As etapas do ciclo de vida e o diagrama de fluxos de entrada e saída do sistema;
- Parâmetros que descrevem os potenciais impactes ambientais;

- Parâmetros que descrevem a utilização de recursos;
- Parâmetros que descrevem a produção de resíduos;
- Outros parâmetros ambientais considerados;
- Informação ambiental adicional.

#### **4.11.2. Regras para a declaração de informações de ACV por módulo**

Para facilitar a avaliação de impactos ambientais nas diferentes etapas do ciclo de vida, é necessário fornecer as informações de forma modular. Como já referimos anteriormente, existem três tipos de DAP a declarar e para as desenvolver é necessário especificar qual o tipo de análise a declarar:

- DAP “do berço ao portão”: neste caso não se deve declarar a vida útil de referência (VUR), sendo declarada como "não especificada";
- DAP “do berço ao portão com opções”: deve-se declarar a VUR, caso se tenha definido cenários relativos aos módulos A1-A3 e B1-B5;
- DAP "do berço ao túmulo": neste caso a DAP abrange todas as etapas do ciclo de vida incluindo todos os módulos das etapas A a C, sendo necessário declarar a VUR.

O módulo D não foi referido e apesar de ser opcional pode ser incluído em qualquer uma das DAP acima referidas.

Alguns módulos poderão não ser relevantes para o desempenho ambiental de um produto, nessas situações, o módulo deve ser declarado “não relevante” e não como um resultado de zero.

#### **4.11.3. Parâmetros que descrevem os potenciais impactos ambientais**

As informações relacionadas com os impactos ambientais são expressas por categorias de impacto provenientes do estudo de ACV. As categorias de impacto, assim como as unidades em que são expressas estão definidas na Tabela 19.

Tabela 19 - Parâmetros e Impactes Ambientais (NP EN 15804:2012)

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Parâmetro unitário expresso por unidade funcional/declarada</b>
<b>Aquecimento global</b>	Potencial de aquecimento global (GWP)	kg dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) equiv.
<b>Depleção da camada de ozono</b>	Potencial de depleção da camada do ozono estratosférica (ODP)	kg triclourofluorometano (CFC-11) equiv.
<b>Acidificação</b>	Potencial de acidificação do solo e da água (AP)	kg dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ) equiv.
<b>Eutrofização</b>	Potencial de eutrofização (EP)	kg fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) equiv.
<b>Oxidação fotoquímica</b>	Potencial de formação do ozono troposférico (POCP)	kg eteno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) equiv.
<b>Depleção dos recursos abióticos (elementos)</b>	Potencial de depleção para os recursos abióticos não fósseis (ADP-elementos)	kg antimónio (Sb) equiv.
<b>Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fósseis)</b>	Potencial de depleção para os recursos abióticos fósseis (ADP-combustíveis fósseis)	MJ, poder calorífico inferior (PCI)

A avaliação de impactes ambientais irá quantificar os impactes associados às matérias-primas e à produção do BTC, sendo incluídos no documento, com estrutura semelhante à de uma DAP, que se está a desenvolver.

As categorias de impacte a considerar de acordo com a NP EN 15804:2012 são:

- **Aquecimento Global (GWP):** É o aumento da temperatura da atmosfera e oceanos, ao longo dos tempos, capaz de alterar o clima terrestre. Este impacte está relacionado com as emissões de gases de efeito de estufa, nomeadamente, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), clorofluorcarbonetos (CFC's), Metano (CH<sub>4</sub>), entre outros. Este impacte é avaliado em kg de CO<sub>2</sub> equivalente.
- **Depleção da camada de ozono (ODP):** A camada de ozono funciona como proteção à radiação ultravioleta. Existe uma fração de radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre, devido à destruição da camada de ozono. Esta situação provoca efeitos negativos na saúde humana e animal e nos ecossistemas terrestres e aquáticos. Esta categoria é determinada em kg triclourofluorometano (CFC-11) equivalente.



- **Acidificação (AP):** É um processo de alteração química do ambiente e resulta das substâncias acidificantes que tem impactos sobre o solo e as águas. A acidificação tem origem humana, através do aumento dos gases carbónicos, devido à combustão de combustíveis fósseis. Este impacto é avaliado em kg dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) equivalente.
- **Eutrofização (EP):** É caracterizada por uma elevada quantidade de nutrientes no ambiente aquático, devido às atividades humanas, industriais, domésticas e agrícolas, como por exemplo, o uso dos fertilizantes que podem escoar e dissolver-se nas águas. Estes nutrientes provocam excesso de algas e plantas aquáticas que impedem a entrada de luz na água e a realização da fotossíntese pelas camadas mais profundas, ocorrendo então a morte das mesmas, a proliferação de bactérias decompositoras e o aumento do consumo de oxigénio por estes organismos. Com a falta de oxigénio aumenta a mortalidade dos peixes e outros organismos aeróbicos, produzindo gases tóxicos, como sulfúrico. É avaliada em kg fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) equivalente.
- **Oxidação fotoquímica (POCP):** É derivada de poluentes secundários formados pela queima de combustíveis e solventes. Tem este nome porque são produtos das reações entre óxidos de nitrogénio e compostos orgânicos voláteis, ocorrendo na presença de luz solar. Estes poluentes contribuem para o aparecimento do “smog” (“fumaça”), sendo os locais de tráfego intenso, com luz solar incidente, altas temperaturas e ventos calmos, os locais mais comuns para o aparecimento de smogs fotoquímicos. Este impacto é avaliado em kg eteno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) equivalente.
- **Depleção dos recursos abióticos (elementos) (ADP):** Os fatores abióticos são componentes não vivos que influenciam a vida dos seres vivos presentes no ecossistema. Este impacto está relacionado com os recursos abióticos não fósseis. É avaliado em kg antimónio (Sb) equivalente.
- **Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fósseis) (ADP):** Está associada ao consumo de combustíveis fósseis, recursos que não são renováveis e desaparecem com exploração contínua. Este impacto é avaliado em MJ, poder calorífico inferior (PCI).

A avaliação de impactes é realizada de acordo com a norma NP EN 15804:2012. Não serão considerados os impactes relacionados com a toxicidade, dado que existe um elevado número de incertezas com os mesmos.

#### 4.11.4. Parâmetros que descrevem a utilização dos recursos

Os parâmetros seguintes descrevem o uso de materiais renováveis e não renováveis, da energia primária renovável e não renovável e da água, sendo recolhidos com base nos dados de inventário do estudo de ACV. Os parâmetros são apresentados na Tabela 20, juntamente com as unidades em que são expressas.

Tabela 20 - Parâmetros que descrevem a utilização de recursos (NP EN 15804:2012)

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada</b>
Utilização de energia primária renovável (excluindo recursos de energia primária renováveis utilizados como matérias-primas)	MJ, poder calorífico inferior (PCI)
Utilização dos recursos de energia primária renováveis utilizados como matérias-primas	MJ, poder calorífico inferior (PCI)
Utilização total dos recursos de energia primária renováveis (energia primária e recursos de energia primária utilizados como matérias-primas)	MJ, poder calorífico inferior (PCI)
Utilização de energia primária não renovável (excluindo recursos de energia primária não renovável utilizados como matérias-primas)	MJ, poder calorífico inferior (PCI)
Utilização dos recursos de energia primária não renováveis utilizados como matérias-primas	MJ, poder calorífico inferior (PCI)
Utilização total dos recursos de energia primária não renováveis (energia primária e recursos de energia primária utilizados como matérias-primas)	MJ, poder calorífico inferior (PCI)
Utilização de material secundário	kg
Utilização de combustíveis secundários renováveis	MJ, poder calorífico inferior (PCI)
Utilização de combustíveis secundários não renováveis	MJ, poder calorífico inferior (PCI)
Utilização do valor líquido de água doce	m <sup>3</sup>

#### 4.11.5. Outra informação ambiental que descreve diferentes categorias de resíduos e fluxos de saída

Os parâmetros que descrevem categorias de resíduos e outros fluxos de materiais são fluxos de saída, resultantes do inventário do ciclo de vida do produto. A quantidade de resíduos depositados deve ser contabilizada através dos parâmetros que se apresentam, mesmo que a deposição final dos mesmos seja contemplada nas fronteiras do sistema do produto. As Tabelas 21 e 22, apresentam parâmetros que devem ser incluídos na DAP.

Tabela 21 - Parâmetros relacionados com diferentes categorias de resíduos (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada
Resíduos perigosos eliminados	kg
Resíduos não perigosos eliminados	kg
Resíduos radioativos eliminados	kg

Tabela 22 - Parâmetros que descrevem outros fluxos de saída (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada
Componentes para reutilização	Kg
Materiais para reciclagem	Kg
Materiais para recuperação de energia	Kg
Energia exportada	MJ, por vetor energético

#### 4.12. Cenários e informação técnica adicional

A informação técnica adicional serve de suporte para o desenvolvimento dos cenários com base nos cálculos e parâmetros de declarados de ACV, referentes às etapas adicionais de ciclo de vida. Se a DAP incluir todas as etapas do ciclo de vida, devem ser calculados todos os módulos opcionais com base em cenários adequados e os parâmetros da ACV devem ser declarados.

#### 4.12.1. Etapa do processo de construção

##### Modulo A4 – Transporte

Se a DAP incluir informação técnica adicional relativa ao transporte do portão da fábrica para o local da obra é necessário descrever o cenário tendo em conta a informação apresentada na Tabela 23.

Tabela 23 - Parâmetros que descrevem o transporte para o local da obra (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada
Tipo de veículo utilizado (Diretiva Europeia 2007/37/EC)	Não aplicável
<b>Tipo de combustível</b>	
Consumo de combustível	l/ km (litro de combustível por distância)
Distância percorrida	km
Capacidade de utilização (ida e volta)	% (carga útil)
Carga transportada	kg
Volume transportado	m <sup>3</sup>
Densidade de carga	kg/m <sup>3</sup>

##### Modulo A5 – Processo de instalação

Se a DAP incluir informação técnica adicional relativa ao processo de instalação do produto é necessário descrever o cenário tendo em conta a informação da Tabela 24.

Tabela 24 - Instalação do produto no local da obra (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada
Materiais acessórios para instalação (especificado por material)	kg ou outras unidades, conforme apropriado
Uso de água	m <sup>3</sup>
Utilização de outros recursos	kg
Descrição quantitativa de fontes de energia (mix energético regional) e respetivo consumo durante o processo de instalação	kWh ou MJ
Produção de resíduos no local da obra resultantes da instalação do produto e antes do processamento dos mesmos (especificado por tipo de resíduo)	kg
Saída de materiais (especificado por tipo) como resultado do processamento de resíduos no local da obra, por exemplo materiais para reciclagem, valorização energética, para aterro, eliminação	kg
Emissões diretas para o ar, solo e água	kg

#### 4.12.2. Etapa de utilização (B1-B7)

##### Vida útil de referência (VUR)

A vida útil de referência pode ser baseada em dados recolhidos como valores médios ou no início ou fim da vida de utilização. As condições de referência para o desempenho técnico e funcional, bem como, a vida útil de referência, são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Parâmetros definidos para a VUR (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada
Vida útil de referência	Anos
Propriedades declaradas do produto (no portão da fábrica), acabamentos, etc.	Unidade apropriada
Parâmetros de aplicação (se instruído pelo produtor), incluindo referência a práticas apropriadas	Unidade apropriada
A qualidade do trabalho estimada, quando instalado de acordo com as indicações do produtor	Unidade apropriada
Condições ambientais exteriores (para aplicações exteriores), por exemplo, condições climáticas, poluentes, orientação do edifício, temperatura, etc.	Unidade apropriada
Condições ambientais interiores (para aplicações interiores), por exemplo temperatura, humidade, exposição química, etc.	Unidade apropriada
Condições de utilização, por exemplo a frequência de utilização, exposição mecânica, etc.	Unidade apropriada
Manutenção, por exemplo frequência requerida, tipo, qualidade e substituição de componentes	Unidade apropriada

##### Módulo B1 – Utilização

Este módulo diz respeito às emissões ambientais derivadas da utilização corrente do produto instalado no edifício. Este módulo não inclui as emissões relativas à utilização de energia e de água.

Para produtos expostos ao ar interior dos edifícios depois da sua instalação, a informação a fornecer de forma a suportar o cenário de utilização é a seguinte: emissões para o ar interior de acordo com as normas relativas à medição de emissões de substâncias perigosas reguladas pelos materiais de construção utilizando métodos de ensaio harmonizados de acordo com as provisões dos respetivos comités técnicos das normas de produto europeus (quando estas normas não estiverem disponíveis, esta informação pode ser omitida).

Para produtos em contato com o solo ou a água depois da sua instalação, a informação a fornecer de forma a suportar o cenário de utilização é a seguinte: emissões para o solo e água de acordo com as normas relativas à medição de emissões de substâncias perigosas reguladas pelos materiais de construção utilizando métodos de ensaio harmonizados de acordo com as provisões dos respetivos comités técnicos das normas de produto europeus (quando estas normas não estiverem disponíveis, esta informação pode ser omitida).

### Módulo B2 – Manutenção

Neste módulo é feita a descrição do processo de manutenção ou indicação do local onde se poderá obter esta informação. Na Tabela 26, podem-se encontrar os parâmetros sobre o processo de manutenção.

Tabela 26 - Parâmetros sobre o processo de manutenção (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada
Ciclo de manutenção	Número de vezes durante a VUR ou por ano
Materiais auxiliares para a manutenção, por exemplo detergentes de limpeza	kg/ciclo
Resíduos resultantes do processo de manutenção (especificar materiais)	kg
Consumo líquido de água doce durante a manutenção	m <sup>3</sup>
Consumo de energia durante as operações de manutenção, por exemplo na limpeza a vácuo	kWh ou kWh/ciclo

### Módulo B3 – Reparação

No módulo de reparação, pode-se encontrar a descrição do processo de reparação ou inspeção, ou a indicação do local onde se poderá obter essa informação. Os parâmetros sobre o processo de reparação são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Parâmetros sobre o processo de reparação (NP EN 15804:2012)

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada</b>
Ciclo de reparação	Número de vezes durante a VUR ou por ano
Materiais auxiliares para a reparação, por exemplo lubrificantes (especificar os materiais)	kg ou kg/ciclo
Resíduos resultantes do processo de reparação (especificar materiais)	kg
Consumo líquido de água doce durante a reparação	m <sup>3</sup>
Consumo de energia (especificar tipo de energia) durante as operações de reparação, por exemplo operações com maquinaria, etc.	kWh/VUR ou kWh/ciclo

### **Módulo B4 – Substituição**

O módulo B4 consiste na reunião de aspetos e impactes ambientais resultantes da reparação do produto quando não se encontra em perfeito funcionamento de modo a que recupere a condição de desempenho. Na Tabela 28 encontram-se descritos os parâmetros do processo substituição.

Tabela 28 - Parâmetros sobre a substituição (NP EN 15804:2012)

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada</b>
Ciclo de substituição	Número de vezes durante a VUR ou por ano
Resíduos resultantes do processo de substituição (especificar materiais)	kg
Consumo de energia (especificar tipo de energia) durante a substituição, por exemplo operações com maquinaria, etc.	kWh/VUR ou kWh/ciclo
Substituição de peças desgastadas durante o ciclo de vida do produto (especificar materiais), por exemplo zinco, chapas de aço, etc.	kg

### **Módulo B5 – Reabilitação**

Quanto ao modulo reabilitação, abrange todas as atividades de manutenção, reparação e/ou substituição relativas ao edifício ou outros trabalhos de construção. Na Tabela 29 encontram-se descritos os parâmetros sobre a reabilitação.

Tabela 29 - Parâmetros sobre a reabilitação (NP EN 15804:2012)

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada</b>
Ciclo de reabilitação	Número de vezes durante a VUR ou por ano
Materiais utilizados na reabilitação, por exemplo lubrificantes (especificar os materiais)	kg ou kg/ciclo
Resíduos resultantes do processo de reabilitação (especificar materiais)	kg
Consumo de energia (especificar tipo de energia) durante a reabilitação, por exemplo operações com maquinaria, etc.	kWh/VUR ou kWh/ciclo

### **Módulo B6 – Necessidades de energia e Módulo B7 – Necessidades de água, durante a fase operacional**

O módulo B6 contempla a energia consumida durante o funcionamento do produto ou edifício e o módulo B7 inclui a água consumida durante o período desde a entrega do edifício ou da obra de construção até à desconstrução ou demolição do edifício. Na Tabela 30 estão indicados os parâmetros para a utilização de energia e água.

Tabela 30 - Parâmetros para utilização de energia e utilização de água (NP EN 15804:2012)

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada</b>
Materiais auxiliares especificados por kg de material	kg ou unidades apropriadas
Consumo líquido de água doce	m <sup>3</sup>
Tipo de energia consumida, por exemplo eletricidade, gás natural, etc.	kWh
Potência de equipamento	kW
Características de desempenho, por exemplo eficiência energética, emissões, variação do desempenho em função da capacidade de utilização, etc.	Unidades apropriadas

### **4.12.3. Etapa do fim de vida**

Para a informação técnica adicional referente aos processos de fim-de-vida, a especificação dos cenários devem conter a informação da Tabela 31.



Tabela 31 - Parâmetros para a etapa do fim de vida (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade do parâmetro expressa por unidade funcional/declarada
Processos de recolha especificados por tipo	kg material recolhido separadamente
	kg material recolhido no <i>mix</i> dos resíduos de construção
Processo de recuperação especificado por tipo	kg para reutilização
	kg para reciclagem
	kg para valorização energética
Destino final especificado por tipo	kg de produto ou material para deposição final

Os cenários devem apenas modelar processos que sejam economicamente e tecnicamente viáveis. Caso sejam definidos múltiplos processos de fim de vida, a avaliação de impacto deve ser apresentada por processo, além do resultado agregado e ponderado de todos os processos.

#### Módulo D

A informação adicional necessária para a descrição dos respetivos cenários deve ser indicada na DAP, no caso existir benefícios e cargas ambientais além da fronteira do sistema.

#### Informação ambiental adicional

Deve incluir-se na DAP informação adicional relacionada com aspetos ambientais (caso seja relevante), para além da informação ambiental da ACV, ICV ou módulos de informação.

Exemplo: Identificação de perigos e riscos ambientais resultantes do manuseamento do produto em cada etapa do ciclo de vida.

#### Informação ambiental sobre a libertação de substâncias perigosas

A informação ambiental sobre a libertação de substâncias perigosas refere-se aos impactos ambientais causados no ar interior dos edifícios, no solo e nos leitos freáticos, durante a etapa de utilização do produto.

### **Ar Interior**

A informação a declarar deve referir-se aos produtos expostos ao ar interior após a instalação nos edifícios durante a etapa de utilização, de modo a salvaguardar a saúde dos utilizadores do edifício. Assim é importante declarar as emissões para o ar interior libertadas pelos produtos de construção, tendo em conta as normas sobre a monitorização das emissões de substâncias perigosas regulamentadas.

### **Solo e água**

A informação ambiental adicional deve ser fornecida para os produtos que poderão estar em contato com o solo ou emitir substâncias para os leitos freáticos, durante a fase de utilização. Assim é importante declarar as emissões libertadas pelos produtos para o solo e para a água, em conformidade com as normas ou regulamentação nacional, caso existam.

### **Agregação dos módulos de informação**

Os indicadores declarados nos módulos de informação individuais das etapas de ciclo de vida de um produto, A1 a A5, B1 a B7, C1 a C4 e módulo D, não devem ser agregados para obter um total ou subtotal das etapas do ciclo de vida A, B, C ou D. Como exceção, os módulos de informação A1, A2 e A3 poderão ser agregados de modo a obter resultados para a fase do produto.

### **Relatório do Projeto**

O relatório do projeto resume a documentação do projeto de uma forma sistemática e abrangente, a fim de apoiar a eficaz verificação da DAP. O relatório deve registar a ACV e a informação adicional, tal como declarada na DAP, de acordo com a norma NP EN 15804:2012. Este deve ser disponibilizado ao verificador com os requisitos de confidencialidade especificados na EN ISO 14025:2006.

### **Verificação e Validade de uma DAP**

Uma DAP necessita de ser verificada por uma terceira parte independente para que se garanta a fiabilidade do seu conteúdo. Este processo é coordenado por um organismo independente das partes envolvidas.

De acordo com a norma NP EN 1580:2012, uma DAP é válida por um período de cinco anos a partir da data de publicação. Após esses cinco anos, a DAP deverá ser revista e

verificada. Se durante o período de validade de uma DAP se verificar alguma alteração considerável (superior a 10%) no desempenho ambiental do produto, deve ser atualizada, no entanto, caso não ocorram alterações significativas ao fim do período da sua validade, não é obrigatória refazer a DAP.

O processo de verificação e o estabelecimento da validade de uma DAP deve ser conforme com a EN ISO 14025:2006 e com ISO 21930:2007.



## 5. OBJETO DE ESTUDO

### 5.1. Enquadramento

O objeto de estudo tem como objetivos:

- Desenvolver o estudo do desempenho ambiental do um bloco de BTC inovador desenvolvido no âmbito de um projeto de investigação em curso na Universidade do Minho. No estudo será utilizado o método normalizado em que assenta o desenvolvimento de uma DAP;
- Permitir a comparação de produtos idênticos (tijolo cerâmico e BTC). Para isso serão calculados os impactes ambientais associados a 1 kg de BTC e 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm e posteriormente serão comparados. Além desta comparação entre produtos, serão comparadas soluções construtivas, ou seja, um m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC e um m<sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm, ambas rebocadas dos dois lados.

O desenvolvimento de uma DAP permite obter os impactes ambientais associados ao produto em estudo, quantificando as emissões e o consumo de recursos. Neste capítulo serão efetuados todos os procedimentos, de modo a que seja possível desenvolver um documento com a estrutura de uma DAP do BTC, pois a elaboração de uma DAP necessita de uma verificação por uma entidade terceira, que está fora do âmbito deste trabalho. Para isso será necessário efetuar uma análise ao ciclo de vida e um inventário do ciclo de vida em relação ao BTC. Serão também definidos cenários ao nível do produto.

A avaliação dos impactes ambientais associados ao BTC e ao tijolo cerâmico furado de 11 cm será efetuada no programa informático *SimaPro*, utilizando a base de dados *Ecoinvent* e os métodos *CML baseline* e *Cumulative Energy Demand*.

## **5.2. Processo de produção de blocos de terra comprimida perfurados**

### **5.2.1. Materiais utilizados**

A produção dos BTC tem como matéria-prima principal a utilização de solo, no entanto podem ser utilizados estabilizadores assim como misturas de outros materiais, como fibras ou outros agregados.

As matérias utilizadas na produção do BTC em estudo são: solo, água, 5% de cal e 10% de cimento. Os materiais e ferramentas necessárias são: escavadora, caminhão de transporte, peneiro, baldes, pás e sacholas, prensa manual, paletes e filme retrátil.

### **5.2.2. Produção dos BTC**

O processo de produção de BTC envolve as seguintes etapas:

- Extração do solo, escavando abaixo de um metro de profundidade de modo a evitar o solo com matéria orgânica;
- Secagem, através do espalhamento da terra em camadas finas;
- Se existirem torrões é necessário tornar a terra num pó fino;
- Peneirar o solo retirando as partículas de maiores dimensões e a matéria orgânica;
- Dosagem dos materiais constituintes para cada amassadura, controlando o peso ou o volume dos constituintes;
- Criar uma mistura homogênea;
- Adicionar a água necessária à amassadura e misturar bem até ficar homogêneo;
- Colocação da mistura na prensa na medida certa de modo a obter a densidade pretendida;
- Compactar a mistura;
- Remover o BTC da prensa e colocá-lo no local de cura;
- Cura do BTC, em estufas ou ao sol.

## **5.3. Cálculo para ACV**

### **5.3.1. Tipo de DAP e etapas de ciclo de vida**

No desenvolvimento do documento estrutural da DAP apenas serão incluídas as etapas obrigatórias do ciclo de vida, do berço ao portão (*cradle-to-gate*).

Este tipo de DAP, incide sobre as fases do ciclo de vida da extração e processamento de matérias-primas, transporte para o fabricante e produção de produtos (A1-A3).

### **5.3.2. Unidade declarada**

**A unidade funcional a utilizar para a quantificação do desempenho dos BTC é: 1 m<sup>2</sup> em blocos de terra comprimida.**

### **5.3.3. Vida Útil de Referencia**

A vida útil de referência não se irá aplicar nesta DAP, pois de acordo com a norma NP EN 15804:2012, apenas deve ser considerada na fase de utilização (módulo B). A VUR não será considerada na ACV do produto, apenas será mencionada no desenvolvimento de cenários a nível de produto.

### **5.3.4. Fronteira do sistema**

Como já foi referido a análise a adotar na ACV será do berço ao portão que corresponde à produção do bloco em estudo.

A etapa de produção é composta por três módulos, a extração e processamento de matérias-primas, o transporte para o fabricante e por fim a produção de produtos.

Para os BTC esta fase engloba:

#### **A1 - Extração e processamento de matérias-primas:**

- Extração da matéria-prima (solo) no local de construção, no local de produção, ou com origem noutros locais. É um material de acesso fácil e em abundância no

planeta. No caso de estudo, o solo será extraído a cerca de 7 km do local de produção;

- Processamento de materiais secundários usados como entradas no fabrico de produtos, como o cimento e a cal no caso em estudo, ou outros estabilizadores como pozolanas. No caso de estudo apenas será usado o cimento e a cal;

#### **A2 - Transporte para o fabricante:**

- Transporte da terra no seu estado natural, sem ser peneirada ou misturada, até ao portão do local onde serão produzidos. Neste caso será do local de extração, até à Universidade do Minho (local de produção);

#### **A3 – Produção de produtos:**

- Produção dos BTC (peneirar o solo, efetuar a mistura água, cimento, cal e solo, colocar a mistura nos moldes da prensa e comprimir, por fim retirar os blocos cuidadosamente e colocar nas paletes para a cura);
- Produção da embalagem (filme retrátil para envolver os blocos, evitando assim a queda dos mesmos durante o transporte e ajudando no processo de cura). As paletes também fazem parte da embalagem do BTC, pois são utilizadas para o seu transporte. No entanto, não serão consideradas neste trabalho pois serão devolvidas ao fornecedor. Assim sendo não são quantificados os impactes das mesmas na produção do BTC;
- Caso sejam utilizadas prensas automáticas é necessário considerar a produção de energia. No caso em estudo são utilizadas apenas prensas manuais;
- Não serão considerados os impactes ambientais relacionados com as deslocações dos trabalhadores para as empresas.

#### **A1-A3:**

- Processamento de resíduos até ao fim do estatuto de resíduo ou seu destino final, incluindo qualquer embalagem não associada com a saída do produto.

Na Figura 16 encontram-se definidas as fronteiras do sistema do ciclo de vida do BTC, com as entradas e saídas



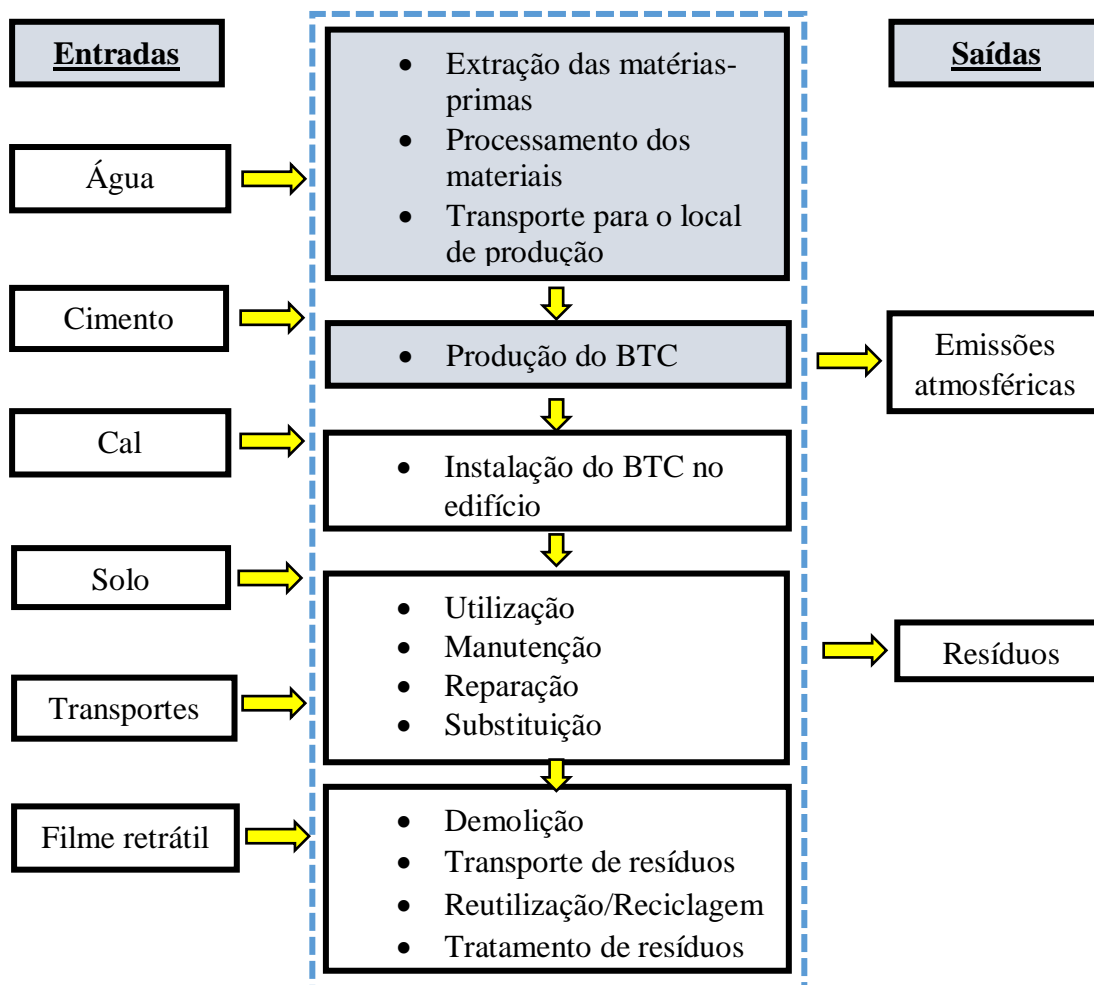


Figura 16 - Fronteiras do Sistema

### 5.3.5. Seleção dos dados

Os dados específicos utilizados neste trabalho são baseados na produção de BTC's na Universidade do Minho (UM), com solo do tipo granítico extraído em Guimarães.

Nos processos em que os responsáveis pela produção dos BTC's desconhecem ou não fornecem informação específica, recorreu-se a bases de dados de AICV. Esses processos poderão ser, nomeadamente, a produção de bens que constituem entradas como o cimento, a cal, o consumo de energia, entre outros. Para obter os dados genéricos recorre-se à base de dados de inventário de ciclo de vida *Ecoinvent*, tendo em conta o contexto geográfico mais próximo do nacional.

### **5.3.6. Qualidade dos dados**

Os dados específicos utilizados serão baseados na produção de BTC pela UMinho em 2016, utilizando como já referido solo extraído em Guimarães.

Os dados genéricos serão da base de dados Ecoinvent, extraídos do programa informático *SimaPro* versão de 2016. Os dados foram criados em 2003 e atualizados constantemente, sendo a última atualização da Ecoinvent em 2016 versão 3.4.

### **5.3.7. Desenvolvimento de cenários ao nível do produto**

Neste caso de estudo apenas serão consideradas as etapas do produto A1-A3, pois trata-se de uma análise do ciclo de vida do berço ao portão. No entanto existe a hipótese de serem consideradas outras etapas para além das iniciais e estas devem ser suportadas por cenários apropriados a nível do produto.

### **5.3.8. Etapa de Construção**

#### **A4) – Transporte**

O transporte dos BTC's desde o portão da Universidade do Minho até ao local de construção será efetuado por um camião com grua, tipo Volvo FM9 300, que respeita a norma Euro 4, com peso total carregado de 19 ton e peso útil 8 ton. A distância a percorrer seria em média 100 km, servindo assim o norte de Portugal.

#### **A5) – Processos de construção e instalação**

A instalação do BTC é bastante simples, sendo idêntica à do tijolo cerâmico ou dos blocos de betão.

De seguida são apresentados alguns exemplos de instalação de BTC's:

- Blocos perfurados com junta argamassada. As alvenarias realizadas com estes blocos podem ser alvenarias duplas, aumentando assim a resistência da mesma. Estas podem ser revestidas pelo exterior ou pelo interior com algum tipo de isolamento térmico ou acústico.



Figura 17 - Alvenaria de BTC perfurado com argamassa

- Blocos perfurados com junta argamassada, preenchendo estrutura de madeira. A estrutura de madeira neste caso será a estrutura portante, sendo preenchida por BTC's no seu interior.



Figura 18 - Estrutura de madeira com BTC (Röhlen e Ziegert, 2011)

### 5.3.9. Etapa de Utilização

Na etapa de utilização é importante ter em conta a vida útil de referência do produto e a do edifício onde está instalado. Sendo o tempo de vida útil de um edifício 50 anos, pode-se considerar que a vida útil dos BTC também se encontra nesse período.

#### **B1) – Utilização do produto, serviço ou equipamento**

Após a instalação do produto não é necessária qualquer entrada de energia ou de outro material durante a sua fase de utilização. Para produtos expostos ao ar interior dos edifícios, como é o caso, após a sua instalação, a informação a fornecer é referente às emissões para o ar interior de substâncias perigosas. No caso do BTC, ficando à vista no interior do edifício, originará emissões de CO<sub>2</sub> de 110,11 kg/m<sup>3</sup> (Rocha, 2017).

**B2) – Manutenção**

Este módulo deve conter a descrição dos processos de manutenção. Relativamente aos BTC's não estão previstos nenhuns processos de manutenção ao longo da VUR, a informação deste módulo seria assim “Não aplicável”.

**B3) – Reparação**

No módulo de reparação também não estão previstos nenhuns processos ao longo da VUR do BTC, sendo assim, a informação seria também “Não aplicável”. Poderão ser necessárias reparações, mas a nível dos rebocos de terra, se forem utilizados.

**B4) – Substituição**

Quanto ao módulo de substituição, poderá ocorrer ao longo da VUR do BTC, devido a algum dano provocado no bloco devido a algum acidente ou algum problema de desgaste devido á falta de resistência do mesmo, no entanto não existe informação precisa sobre este módulo, entendendo assim que a informação sobre o mesmo seria “Não aplicável”. A informação a colocar, caso existam informações, será do tipo da apresentada na Tabela 32.

Tabela 32 - Parâmetros sobre o processo de substituição (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade
Ciclo de substituição	Nº de vezes durante a VUR
Resíduos resultantes	kg
Consumo de energia	kWh/VUR ou kWh/ciclo
Substituição de peças desgastadas	kg

**B5) – Reabilitação**

Quanto ao módulo reabilitação, abrange todas as atividades de manutenção, reparação e/ou substituição relativas ao edifício ou outros trabalhos de construção.

A informação a conter neste módulo encontra-se definida na Tabela 33.

Tabela 33 - Parâmetros sobre o processo de reabilitação (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade
Ciclo de substituição	Nº de vezes durante a VUR
Materiais utilizados na reabilitação	kg ou kg/ciclo
Resíduos resultantes	kg
Consumo de energia	kWh/VUR ou kWh/ciclo

A reabilitação de paredes de terra deve ser precedida de uma análise da causa da sua degradação. Tratando-se de degradação por fissuração e caso a sua causa tenha sido corrigida, a operação de reabilitação pode fazer-se com recurso ao preenchimento das fissuras com uma argamassa à base de terra (Pacheco Torgal, Eires, Jalali, 2009).

Quanto à reabilitação de argamassas de reboco, estas “devem ser aplicadas em várias camadas, possuir baixa resistência mecânica, baixo módulo de elasticidade e elevada permeabilidade ao vapor de água. Antes da reabilitação do revestimento torna-se necessário no entanto solucionar a causa que contribuiu para a degradação do revestimento.” (Pacheco Torgal, Eires, Jalali, 2009)

#### **B6) – Consumo de energia em fase de operação e B7) – Uso de água em fase de operação**

Quanto aos módulos B6 e B7, apenas teremos informações no módulo B7 devido ao uso de água em fase de operação, utilizada na lavagem de paredes. As paredes realizadas em BTC podem ser revestidas com reboco ou podem ficar com o BTC à vista. Podemos considerar que a lavagem das paredes de BTC é idêntica à lavagem de paredes tradicionais, utilizando água e detergente. A informação a colocar neste módulo está indicada na Tabela 34.

Tabela 34 - Parâmetros para utilização de energia (B6) e utilização de água (B7) (NP EN 15804:2012)

Parâmetro	Unidade
Materiais auxiliares	Não se aplica
Consumos de água doce	m <sup>3</sup>
Tipo de energia consumida	Não se aplica
Potência do equipamento	Não se aplica
Características de desempenho	Não se aplica

### **5.3.10. Etapa de Fim de Vida**

#### **C1) – Demolição do produto ou da construção**

Este módulo está relacionado com o fim de vida do edifício ou com a reabilitação do mesmo, sendo os seus impactes nulos se a demolição for efetuada pelos trabalhadores recorrendo a martelos, marretas, picaretas. Caso seja utilizado algum tipo de maquinaria, tipo martelos pneumáticos ou escavadoras, será necessário contabilizar os impactes das mesmas.

#### **C2) – Transporte dos resíduos**

Os resíduos da demolição serão transportados para um aterro autorizado, localizado perto do local da obra, num raio de cerca de 30 km. O meio de transporte utilizado será um camião, tipo Mercedes Actros 2635 basculante, respeitando a norma Euro 2 e com peso total bruto de 26 ton.

#### **C3) – Tratamento de resíduos para reutilização, recuperação ou reciclagem**

Os BTC's que se encontrem em bom estado de conservação e em boas condições técnicas de uso poderem vir a ser reutilizados.

Os BTC's que forem removidos juntamente com a argamassa de assentamento irão passar por um processo de trituração e posteriormente por um processo de granulagem. Após estes processos é possível dar um destino aos novos materiais, podendo ser reutilizados novamente no fabrico de novos produtos, tipo o BTC.

#### **C4) – Eliminação dos resíduos**

Os resíduos que não sejam utilizados para reutilização ou reciclagem serão depositados em aterros autorizados. De acordo com Centros Mãos Terra, o BTC é um material biodegradável, pois é produzido por terra e cimento, sendo o cimento absorvido pela natureza num período de 10 a 20 anos.

### **5.3.11. Benefícios e cargas ambientais para além da fronteira do sistema**

#### **D) – Potencial de reutilização, valorização e reciclagem**

A durabilidade e resistência do BTC tem sido comprovada desde mais de meio século. Considerando um edifício caído ou demolido e a vegetação crescendo sobre os escombros, os bio produtos químicos da camada superficial do terreno que irão destruir a

mistura de cimento dos BTC, sendo absorvidos pela natureza em 10-20 anos (Rocha, 2017).

Posto isto, é possível afirmar que o BTC é um material biodegradável e reciclável. É possível reaproveitar o solo utilizado na produção dos BTC, remetendo-nos assim para o módulo A1, extração e processamento de matérias-primas, sendo considerados benefícios e cargas representantes neste módulo relativamente à extração.

## 5.4. Inventário do Ciclo de Vida

O inventário do ciclo de vida é a recolha de informações e cálculo de dados que permitam a quantificação das entradas e saídas do sistema de produto. Estes dados podem ser medidos, calculados ou estimados e devem ser recolhidos para cada processo unitário considerado na fronteira do sistema. Os dados genéricos serão recolhidos da base de dados *Ecoinvent*.

De seguida são apresentados os processos unitários das fronteiras do sistema divididos por módulos desde o A1 ao A3.

### A1 - Extração e processamento de matérias-primas:

No caso em estudo a matéria-prima que é extraída é o solo. Para se extrair o solo utiliza-se uma máquina giratória tipo a “DX 60 R Doosan” (Figura 19), com um balde com capacidade para 0,15 m<sup>3</sup>.



Figura 19 - Giratória utilizada na extração do solo (Doosan, 2017)

### A2 - Transporte para o fabricante:

Após a extração é necessário transportar o solo para a unidade de produção, que neste caso é a Universidade do Minho em Guimarães. Sendo o solo originário também de Guimarães, a distância a percorrer é de cerca de 7 km. O meio de transporte utilizado será

um caminhão que respeita a norma Euro 3, tipo o “Scania tri-basculante C 124C360 6x4” com capacidade de carga de 12 ton (Figura 20).



Figura 20 - Camião tipo, utilizado para transporte do solo (Europa Camiões, 2107)

### A3 – Produção de produtos:

Na produção do BTC é utilizada uma prensa manual. A mistura do solo é também efetuada manualmente, recorrendo a pás e sacholas. Depois de prontos, os BTC, são removidos da prensa, colocados nas paletes Europaletes com uma dimensão de 1200x800 mm e um peso de 25,8 kg (Rotomshop, 2017), e envolvidos com filme retrátil para facilitar o processo de cura e acondicionar a carga. As paletes não serão consideradas no processo de produção, pois considera-se que serão devolvidas ao fabricante e reutilizadas. Na Figura 21 é possível ver uma embalagem de BTC's.



Figura 21 - Embalagem de BTC's

O BTC em estudo está representado na Figura 22 e as características do mesmo estão indicadas na Tabela 35.



Figura 22 - BTC produzido (Silva, 2016)



Tabela 35 - Características do BTC

<b>Produção</b>	<b>Qtd. (und.)</b>	<b>Dimensões (cm)</b>	<b>Peso (kg/m³)</b>
Blocos de Terra Comprimida	1	22x11x10	1800

Na Tabela 36 são apresentados os materiais e equipamentos utilizados na extração, transporte e produção dos BTC. São também apresentados os fornecedores dos mesmos, a distância que é necessário percorrer e a localidade de onde são provenientes. A extração diz respeito a uma carga de solo apenas. A produção é referente a uma amassadura onde se produzem cerca de 20 blocos. Considera-se que a embalagem é constituída apenas pelo filme retrátil que envolve cerca de 200 unidades de BTC.

Tabela 36 - Materiais e equipamentos utilizados na extração, transporte e produção dos BTC

	<b>Qtd.</b>	<b>Und.</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Localidade</b>
<b>Extração do Solo</b>					
<b>Camião</b>	12,00	m <sup>3</sup>	-	-	Guimarães
<b>Máquina</b>	0,15	m <sup>3</sup>	-	-	Guimarães
<b>Produção</b>					
<b>Solo</b>	0,048	m <sup>3</sup>	7	-	Guimarães
<b>Água</b>	5	l	-	-	Local de Produção
<b>Cimento</b>	0,005	m <sup>3</sup>	173	Cimpor	Souselas
<b>Cal</b>	0,002	m <sup>3</sup>	173	Cimpor	Souselas
<b>Embalagem</b>					
<b>Filme Retrátil</b>	150	g	7	Polibag	Guimarães

Na Tabela 37 são apresentados os materiais necessários e as respetivas quantidades para a produção de uma unidade de BTC e da respetiva embalagem.

Tabela 37 - Valores para produção de uma unidade de BTC

	<b>Qtd.</b>	<b>Und.</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Fornecedor</b>	<b>Localidade</b>
<b>Produção de 1 Bloco</b>					
<b>Solo</b>	0,0024	m <sup>3</sup>	7	-	Guimarães
<b>Água</b>	0,25	l	-	-	Local de Produção
<b>Cimento</b>	0,00024	m <sup>3</sup>	173	Cimpor	Souselas
<b>Cal</b>	0,00012	m <sup>3</sup>	173	Cimpor	Souselas
<b>Filme Retrátil</b>	0,75	g	7	Polibag	Guimarães

Tendo em conta que a produção de BTC é efetuada na Universidade do Minho e não existem mais produtos a serem produzidos, não será necessário realizar alocações.

## 5.5. Apresentação dos Resultados

As análises a efetuar serão as seguintes:

- Avaliação dos impactes ambientais associados a uma unidade de BTC;
- Comparação dos impactes ambientais associados a 1 kg de BTC com os impactes ambientais associados a 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm;
- Comparação dos impactes ambientais associados a 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC com os impactes ambientais associados a 1 m<sup>2</sup> de alvenaria tijolo cerâmico furado de 11 cm;
- Avaliação dos impactes ambientais associados a 1m<sup>2</sup> de BTC (análise a introduzir no documento com estrutura de uma DAP).

### 5.5.1. Impactes associados a uma unidade de BTC

#### 5.5.1.1. Impactes ambientais

Na Tabela 38 são apresentados os dados que serão introduzidos no *SimaPro* V8.4, de modo a calcular os impactes ambientais associados a um BTC. A biblioteca ICV utilizada será a *Ecoinvent* e o método para calcular os impactes ambientais é o CML-IA baseline.

Tabela 38 - Dados a introduzir no *SimaPro* relativamente à produção de uma unidade de BTC

	Qtd.	Und.	Dist. (km)	Qtd.	Und.
<b>Materiais/Montagens</b>					
Água	0,250	kg	-		
Cimento	0,288	kg	173		
Cal	0,120	kg	173		
Filme Retrátil	0,00075	kg	7		
<b>Processos</b>					
Extração do Solo	0,0024	m <sup>3</sup>	-		
Transporte do Solo	4,320	kg	7	30,24	kgkm
Transporte do Cimento	0,288	kg	173	49,82	kgkm
Transporte da Cal	0,120	kg	173	20,76	kgkm
Transporte do Filme Retrátil	0,00075	kg	7	0,00525	kgkm

Após a introdução dos dados é possível calcular os impactes ambientais associados à produção de um BTC.

Na Tabela 39 são apresentados os valores dos impactes ambientais totais associados à produção de uma unidade de BTC.

Tabela 39 - Impactes ambientais totais associados à produção de uma unidade de BTC

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>
Depleção dos recursos abióticos (elementos)	kg Sb eq	1,56E-07
Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fosseis)	MJ	1,52E+00
Aquecimento Global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq	3,39E-01
Depleção da camada do ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,26E-08
Oxidação fotoquímica (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	2,81E-05
Acidificação (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq	6,54E-04
Eutrofização (EP)	kg PO <sub>4</sub> --- eq	1,75E-04

Na Tabela 40 são apresentados os impactes relacionados com as matérias-primas utilizadas e todos os processos associados à produção do BTC.

Tabela 40 - Impactes ambientais relativos às matérias-primas e processos associados à produção de uma unidade de BTC

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Depleção dos recursos abióticos (elementos)</b>	<b>Depleção dos recursos abióticos (comb. fosseis)</b>	<b>Aquecimento Global (GWP)</b>	<b>Depleção da camada do ozono (ODP)</b>	<b>Oxidação fotoquímica (POCP)</b>	<b>Acidificação (AP)</b>	<b>Eutrofização (EP)</b>
<b>Unidade</b>	kg Sb eq	MJ	kg CO <sub>2</sub> eq	kg CFC-11 eq	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	kg SO <sub>2</sub> eq	kg PO <sub>4</sub> --- eq
<b>Cimento</b>	9,17E-08	9,59E-01	2,51E-01	7,50E-09	1,74E-05	4,53E-04	1,21E-04
<b>Filme Retrátil</b>	4,49E-09	6,01E-02	2,17E-03	3,88E-11	4,39E-07	8,70E-06	1,44E-06
<b>Cal Hidráulica</b>	2,21E-08	2,52E-01	6,96E-02	2,23E-09	7,59E-06	1,21E-04	3,57E-05
<b>Água</b>	2,46E-10	9,11E-04	7,58E-05	8,99E-12	1,97E-08	4,14E-07	2,09E-07
<b>Transp. Solo</b>	1,36E-08	7,95E-02	4,94E-03	9,41E-10	9,13E-07	2,53E-05	5,88E-06
<b>Escavação</b>	6,46E-10	1,95E-02	1,29E-03	2,29E-10	2,71E-07	9,64E-06	2,28E-06
<b>Transp. Cimento</b>	1,63E-08	1,03E-01	6,41E-03	1,20E-09	1,08E-06	2,54E-05	5,73E-06
<b>Transp. Cal H.</b>	6,79E-09	4,31E-02	2,67E-03	5,01E-10	4,49E-07	1,06E-05	2,39E-06
<b>Transp. Filme R.</b>	1,67E-12	1,07E-05	6,69E-07	1,25E-13	1,12E-10	2,23E-09	4,92E-10

Na Figura 23, encontra-se um gráfico, tipo árvore, onde é possível analisar o contributo de cada material ou processo no impacto total do BTC. Através da análise da Figura 23 é possível verificar que o cimento é o que produz maior impacto ambiental na produção do BTC, seguindo-se a cal e o transporte do cimento.

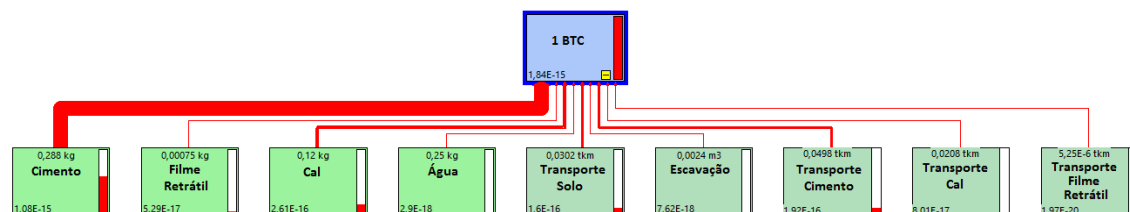


Figura 23 – Árvore de processos relativa à produção de uma unidade de BTC

Na Figura 24 é possível analisar a distribuição percentual dos impactos ambientais totais associados à produção de um BTC.

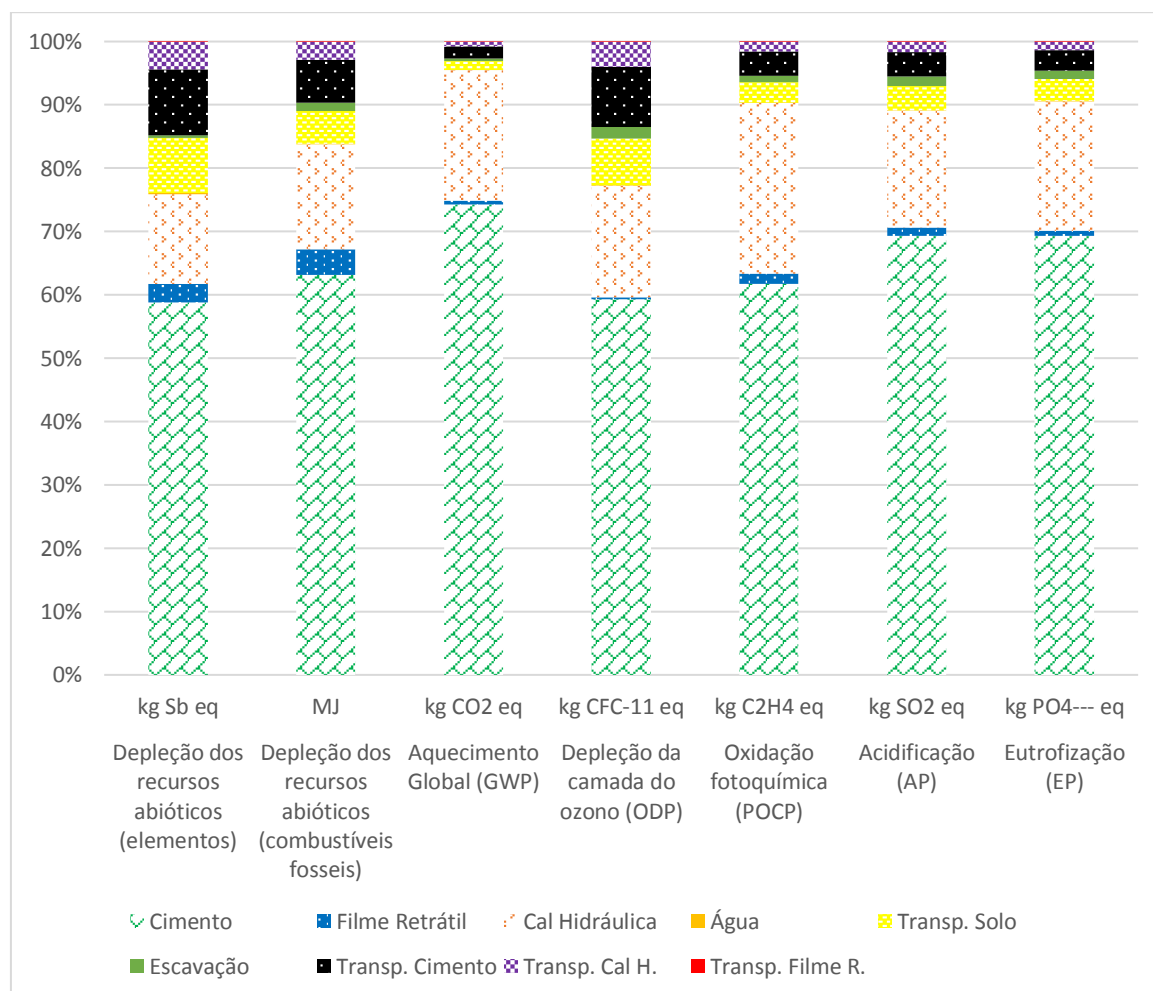


Figura 24 - Distribuição percentual dos impactos ambientais totais associados à produção de um BTC

É possível analisar que em todas as categorias de impacto o produto que possui maior percentagem de impacto ambiental é o cimento, por outro lado o transporte do filme retrátil para a embalagem é o que possui menor impacto e nem é perceptível no gráfico da Figura 24 dada a sua pequena quantidade de massa.

### 5.5.1.2. Recursos Energéticos

O método utilizado para calcular a energia incorporada no BTC, foi o *Cumulative Energy Demand* (CED), baseado no método publicado pela *Ecoinvent System Process* versão 2.0.

Na Tabela 41 apresentam-se os resultados dos recursos energéticos associados à produção de uma unidade de BTC, a Figura 25 permite uma melhor análise.

Tabela 41 - Recursos energéticos associados à produção de uma unidade de BTC

Categoria de impacto	Unidade	Total
Energia Renovável	MJ	0,12
Energia Não Renovável	MJ	1,76
Energia Total	MJ	1,88

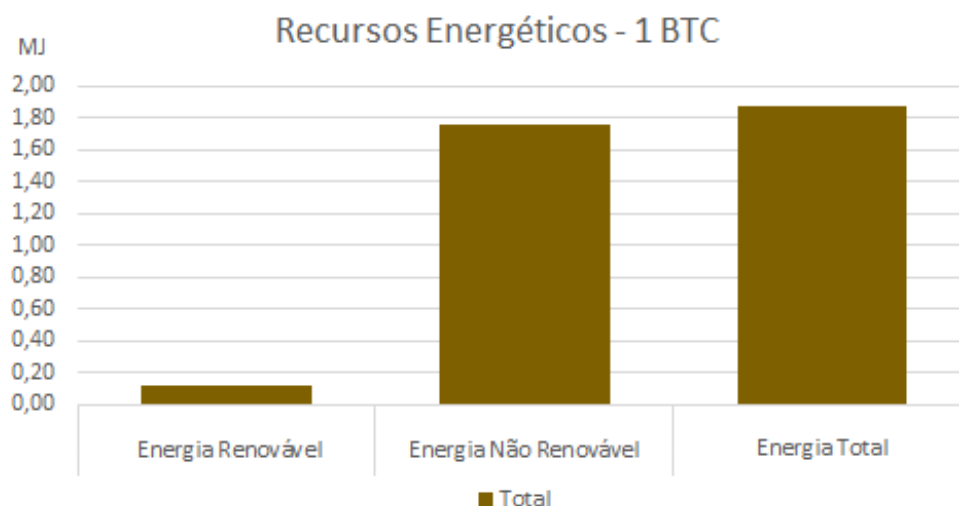


Figura 25 - Recursos energéticos associadas à produção de um BTC

Analisando o gráfico da Figura 25, conclui-se que os valores da energia não renovável estão claramente acima dos valores apresentados pela energia renovável. Esta diferença deve-se ao combustível utilizado para os transportes dos materiais e para a extração da matéria-prima.

## 5.5.2. Comparação do impacto associado a 1 kg de BTC com 1 kg de tijolo cerâmico

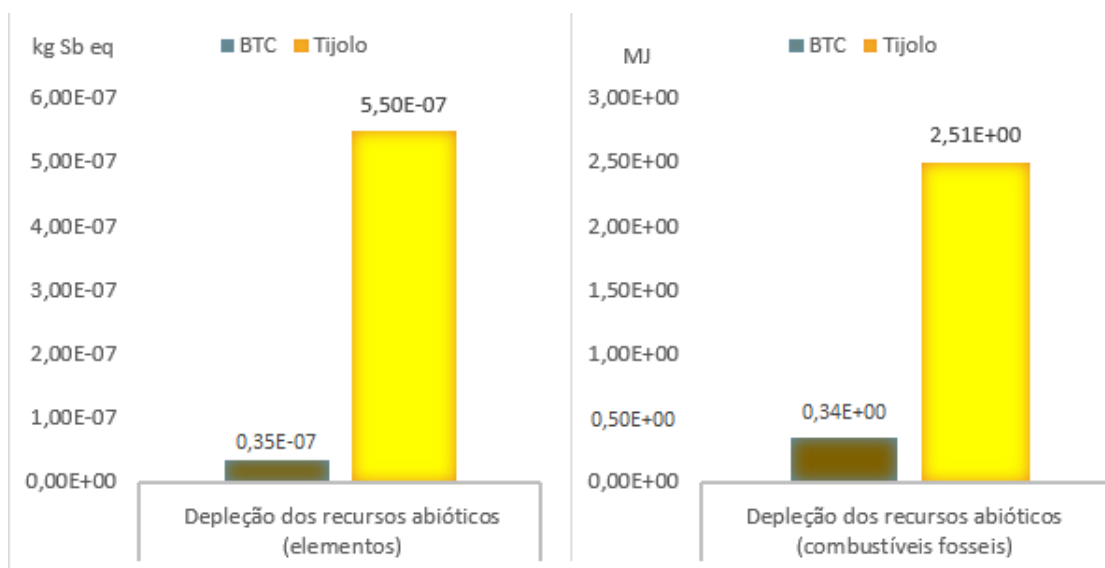
### 5.5.2.1. Impactes Ambientais

A Tabela 42 apresenta a comparação dos impactes ambientais totais entre 1 kg de BTC e 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm. Esta análise é possível tendo em conta que se estão a avaliar os produtos com a mesma unidade de massa. Deste modo, é possível concluir que a produção de 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm conduz a maiores impactes ambientais em todas as categorias comparada com a produção de 1 kg de BTC.

Tabela 42 - Impactes ambientais totais associados à produção de 1 kg de BTC e 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm

Categoria de impacto	Unidade	1 kg de BTC	1 kg de Tijolo
Depleção dos recursos abióticos (elementos)	kg Sb eq	3,57E-08	5,50E-07
Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fósseis)	MJ	3,48E-01	2,51E+00
Aquecimento Global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq	7,77E-02	2,50E-01
Depleção da camada do ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,90E-09	2,33E-08
Oxidação fotoquímica (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	6,45E-06	4,67E-05
Acidificação (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq	1,50E-04	6,54E-04
Eutrofização (EP)	kg PO <sub>4</sub> --- eq	4,01E-05	1,95E-04

Para uma melhor precessão dos valores achou-se por bem representar graficamente os impactes gerados pelos dois produtos, individualmente por categoria (Figura 26).



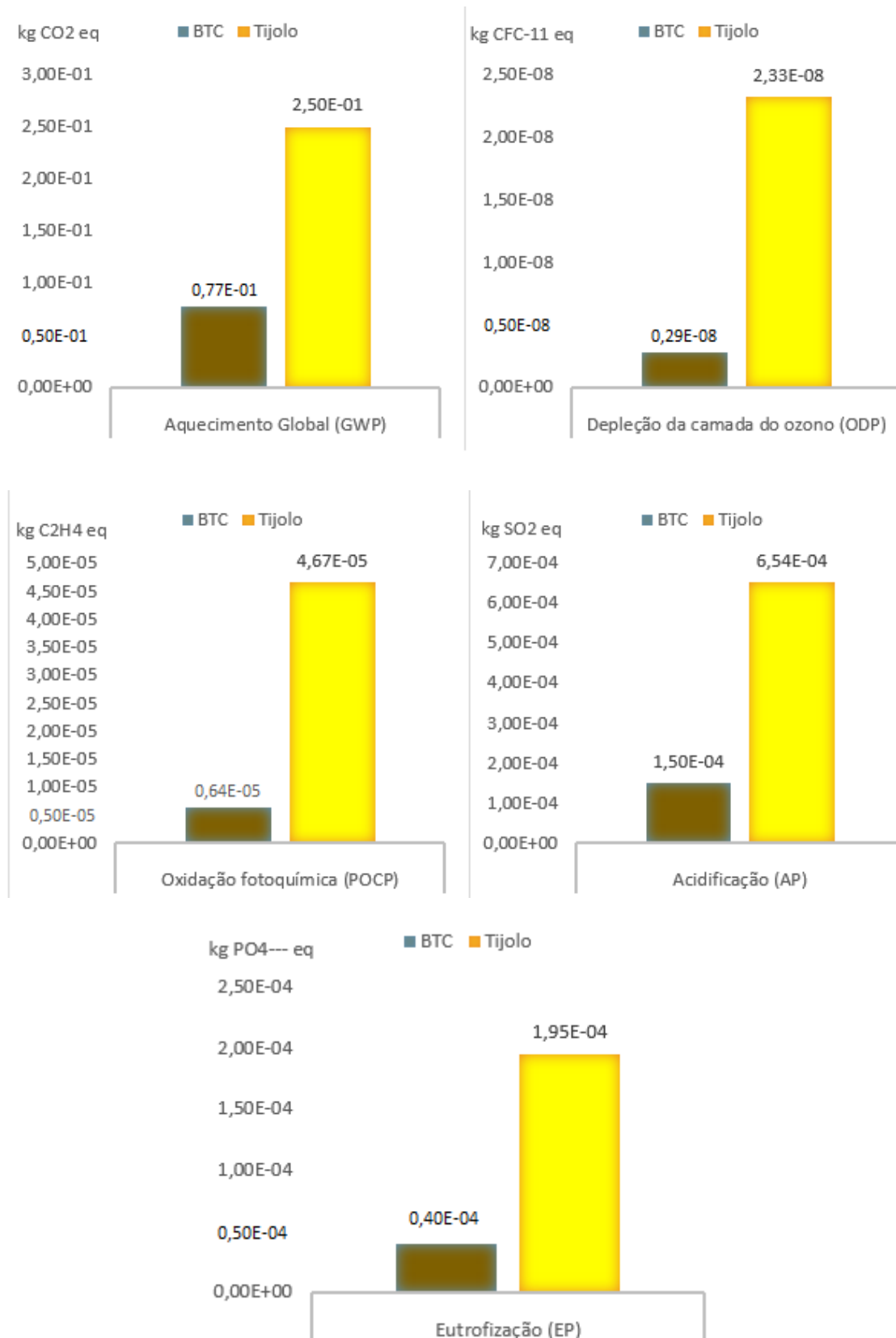


Figura 26 - Distribuição percentual dos impactos ambientais totais associados à produção de um kg de BTC e 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm, apresentados individualmente por categoria

### 5.5.2.2. Recursos Energéticos

Quanto à utilização de recursos energéticos, utilizando o método *Cumulative Energy Demand (CED)*, conclui-se que o tijolo cerâmico furado de 11 cm possui maior consumo de recursos energéticos comparativamente ao BTC. Ambos os materiais têm como maior utilização a energia não renovável, como era previsível. Isto deve-se essencialmente ao consumo de combustíveis e eletricidade gastos na produção, transportes e extração. A energia renovável, como se pode analisar, não é muito relevante em ambos os materiais.

Na Tabela 43 são apresentados os resultados referentes à utilização dos recursos energéticos relativos à produção de 1 kg de BTC e de 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm.

Tabela 43 - Recursos energéticos relativos à produção de 1 kg de BTC e 1 kg de tijolo cerâmico furado de 11 cm

Categoria de impacto	Unidade	1 kg de BTC	1 kg de Tijolo
Energia Não Renovável	MJ	4,03E-01	2,73E+00
Renovável	MJ	2,71E-02	1,46E-01
Energia Total	MJ	4,30E-01	2,87E+00

Na Figura 27 são apresentados graficamente os resultados, para melhor precessão, relativos à energia não renovável e energia total.

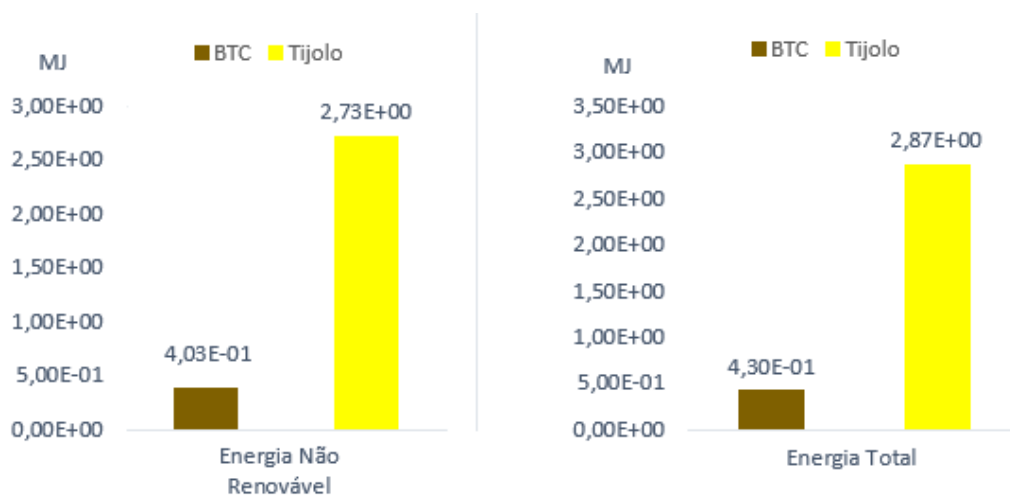


Figura 27 – Energia não renovável (1); Energia total (2)



### 5.5.3. Comparação do impacte associado a 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC com 1 m<sup>2</sup> de alvenaria tijolo cerâmico

De modo a comparar estas duas soluções construtivas considera-se 1 m<sup>2</sup> de alvenaria, sendo constituídas por:

#### Tijolo Cerâmico Furado de 11 cm:

- Tijolos cerâmicos furados 30x20x11 cm;
- Argamassa de assentamento à base de cimento;
- Reboco com argamassa à base de cimento.

#### Bloco de Terra Comprimida:

- Bloco de terra comprimida perfurado 22x11x10 cm;
- Argamassa de assentamento à base de terra;
- Reboco com argamassa à base de terra.

#### 5.5.3.1. Cálculo da quantidade de argamassa e tijolos necessários para cada solução

Para efetuar a análise dos impactes ambientais destes dois tipos de alvenaria é necessário calcular as quantidades existentes de cada material por m<sup>2</sup> de alvenaria.

#### Tijolo Cerâmico Furado de 11 cm:

- Reboco, por m<sup>2</sup>, com argamassa à base de cimento:
  - Massa volúmica aparente = 1800 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Massa volúmica} \times \text{espessura} = m_{\text{revestimento}}$$

$$1800 \text{ kg/m}^3 \times 0,015 \text{ m} = 27 \text{ kg/m}^2 \text{ por face}$$

- Tijolos por m<sup>2</sup>:
  - Argamassa de assentamento = 1 cm
  - Tijolo furado de 11 cm: dimensões 30x20x11 e peso 3,9 kg
  - Área de tijolo com argamassa:

$$(\text{largura} + \text{esp.}) \times (\text{altura} + \text{esp.})$$

$$= (0,30 + 0,01) \times (0,20 + 0,01) = 0,0651 \text{ m}^2$$

- Para 1 m<sup>2</sup> de parede é necessário:

$$\frac{1}{A_{tijolo}} = \frac{1}{0.0651} = 15,36 \text{ unidades/m}^2$$

- Massa volúmica por m<sup>2</sup>:

$$m_{tijolo} = \frac{\text{unidades}}{\text{m}^2} \times \text{peso por unidade}$$

$$m_{tijolo} = 15,36 \times 3,90 = 59,90 \text{ kg /m}^2$$

- Argamassa de assentamento à base de cimento:

- Massa volúmica = 1800 kg/m<sup>3</sup>

- Quantidade de argamassa por tijolo:

$$Q = 0,21 \times 0,01 + 0,31 \times 0,01 = 0,0052 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,0052 \times 0,11 = 0,000572 \text{ m}^3$$

- Quantidade de argamassa por m<sup>2</sup> de parede:

$$15,36 \times 0,000572 = 0,008786 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

- Peso da argamassa por m<sup>2</sup>:

$$P = 0,008786 \times 1800 = 15,8148 \text{ Kg/m}^2$$

### **Bloco de Terra Comprimida Perfurado:**

- Reboco, por m<sup>2</sup>, com argamassa à base de solo:

- Massa volúmica aparente = 1800 kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Massa volúmica} \times \text{espessura} = m_{\text{revestimento}}$$

$$1800 \text{ kg/m}^3 \times 0,015 \text{ m} = 27 \text{ kg/m}^2 \text{ por face}$$

- Tijolos, por m<sup>2</sup>:

- Argamassa de assentamento = 1 cm

- BTC: dimensões 22x10x11 e peso 4,36 kg

- Área do BTC com argamassa:

$$(\text{largura} + \text{esp.}) \times (\text{altura} + \text{esp.})$$

$$= (0,22 + 0,01) \times (0,10 + 0,01) = 0,0253 \text{ m}^2$$

- Para 1 m<sup>2</sup> de parede é necessário:

$$\frac{1}{A_{tijolo}} = \frac{1}{0,0253} = 39,53 \text{ unidades/m}^2$$

- Massa volúmica por  $m^2$ :

$$m_{tijolo} = \frac{unidades}{m^2} \times peso\ por\ unidade$$

$$m_{tijolo} = 39,53 \times 4,36 = 172,35\ kg / m^2$$

- Argamassa de assentamento à base de solo

- Massa volúmica = 1800 kg/m<sup>3</sup>
- Quantidade de argamassa por tijolo:

$$Q = 0,23 \times 0,01 + 0,11 \times 0,01 = 0,0034\ m^2$$

$$Q = 0,0034 \times 0,11 = 0,000374\ m^3$$

- Quantidade de argamassa por m<sup>2</sup> de parede:

$$39,53 \times 0,000374 = 0,01478\ m^3 / m^2$$

- Peso da argamassa por m<sup>2</sup>:

$$P = 0,01478 \times 1800 = 26,604\ Kg / m^2$$

### 5.5.3.2. Quantificação de materiais e processos relacionados com a produção de argamassas e alvenarias

Quantificadas as quantidades de argamassa de reboco e assentamento e a quantidade de tijolos, agora é necessário quantificar os materiais e processos para cada solução e tarefas inerentes.

Pode-se dividir este processo da seguinte forma:

- Quantificação de materiais e processos para a produção de argamassa à base de cimento para o assentamento de blocos e posteriormente para o reboco em ambas as faces da parede;
- Quantificação de materiais e processos para a produção de argamassa à base de terra para o assentamento de blocos e posteriormente para o reboco em ambas as faces da parede;
- Quantificação dos materiais e processos para a execução da alvenaria em tijolo;
- Quantificação dos materiais e processos para a execução da alvenaria em bloco de terra comprimida.

De seguida são apresentadas os métodos para a quantificação de materiais e processos mencionados:

- Argamassa à base de cimento – assentamento e reboco:

De modo a obter as quantidades para a produção de argamassa à base de cimento, recorre-se ao site gerador de preços e é possível retirar as quantidades indicadas para a produção de argamassa de assentamento de tijolos furados de 11 cm por m<sup>2</sup>, assim como para a produção de argamassa de reboco. Quanto à areia, foi considerado que a empresa fornecedora é o grupo Bezerras, que detém uma pedreira situada em S. João Baptista, Airão – Guimarães (Bezerras, Lda., 2017). Considerou-se esta pedreira, pois encontra-se relativamente perto do local de produção. A betoneira usada para fazer a amassadura da argamassa tem uma capacidade de 135 l, é elétrica e possui uma potência de 700W (Leroymerlin, 2017).

Na Tabela 44 é possível ver os materiais e processos necessários para a produção de argamassa à base de cimento destinada ao assentamento dos tijolos cerâmicos. A Tabela 45 diz respeito aos materiais e processos inerentes à produção de reboco para as duas faces da alvenaria de tijolo cerâmico.

Tabela 44 - Materiais e processos necessários à produção de argamassa à base de cimento para assentamento

<b>Argamassa de Assentamento</b>		
<b>Materiais</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Areia	15,00	Kg
Cimento	2,38	Kg
Água	4,00	kg
Transporte de Areia	18,50	km
Transporte de Cimento	173,00	km
Energia Betoneira	0,01	hr
	4,90	Wh

Tabela 45 - Materiais e processos necessários à produção de argamassa à base de cimento para reboco em duas faces da parede

<b>Argamassa de Reboco para as duas faces da parede</b>		
<b>Materiais</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Unidade</b>
Areia	51,22	kg
Cimento	8,13	kg
Água	13,66	kg
Transporte de Areia	18,50	km
Transporte de Cimento	173,00	km
Energia Betoneira	0,01	hr
	16,73	wh

- Argamassa à base de terra – assentamento e reboco:

Será utilizada uma argamassa à base de terra para o assentamento dos BTC e para o reboco a efetuar em ambos os lados da parede.

Considera-se a utilização desta argamassa de modo a compatibilizar os BTC com a argamassa de assentamento e de reboco em termos físicos e mecânicos, mantendo o mesmo nível de retração e evitando o aparecimento de fissuras.

Posto isto, a produção das argamassas será idêntica à produção dos BTC a nível de materiais utilizados e quantidades, à exceção da água que se considerou que seria 10% por ser em média a quantidade de água utilizada em argamassas. Assim a argamassa será composta por solo, 5% de cal, 10% de cimento e 10% de água.

Na Tabela 46 estão identificados os materiais e processos necessários para a produção de argamassa à base de terra destinada ao assentamento dos BTC. A Tabela 47 diz respeito aos materiais e processos inerentes à produção de reboco para as duas faces da alvenaria de BTC.

Tabela 46 - Materiais e processos necessários à produção de argamassa à base de terra para assentamento

Argamassas de Assentamento		
Materiais	Quantidade	Unidade
Solo	26,60	kg
Cimento	1,77	kg
Água	1,48	kg
Cal	0,74	kg
Transporte Cal	173,00	km
Transporte Cimento	173,00	km
Transporte Solo	7,00	km
Energia Betoneira	8,24	Wh

Tabela 47 - Materiais e processos necessários à produção de argamassa à base de terra para reboco em duas faces da parede

Argamassas de Reboco		
Materiais	Quantidade	Unidade
Solo	54,00	kg
Cimento	3,60	kg
Água	3,00	kg
Cal	1,50	kg
Transporte Cal	173,00	km
Transporte Cimento	173,00	km
Transporte Solo	7,00	km
Energia Betoneira	16,73	Wh

- Alvenaria de tijolo

Para a construção da alvenaria de tijolo são necessários os tijolos, a argamassa para assentamento e a argamassa para reboco. Além destes materiais é necessário incluir o transporte dos tijolos para a obra. Na Tabela 48 estão mencionados os materiais necessários e as respectivas quantidades. Foi considerado que os tijolos furados de 11 cm têm origem na Cerâmica Amaro de Macedo S.A., situada em Cervães – Vila Verde, por ser uma das mais próximas do local de instalação da alvenaria (Páginas Amarelas, 2017).

Tabela 48 - Materiais e processos necessários para execução da alvenaria de tijolo cerâmico

Tijolo Parede		
Materiais	Quantidades	Unidades
Argamassa Cimento Assentamento	15,81	kg/m <sup>2</sup>
Argamassa Cimento Reboco	27,00	kg/m <sup>2</sup>
Transporte Tijolo	39,00	km
Tijolo	15,36	und

- Alvenaria de BTC

Na alvenaria de BTC é necessário: BTC, argamassa de assentamento e argamassa de reboco, ambas à base de terra. Além destes materiais é necessário o transporte dos BTC para o local de instalação. Na Tabela 49 estão mencionados os materiais necessários e as respectivas quantidades.

Tabela 49 - Materiais e processos necessários para execução da alvenaria de BTC

BTC Parede		
Materiais	Quantidades	Unidades
Argamassa Terra Assentamento	26,60	kg/m <sup>2</sup>
Argamassa Terra Reboco	27,00	kg/m <sup>2</sup>
BTC	39,53	un
Transporte do BTC para a obra	7,00	km

### 5.5.3.3. Cálculo dos impactes ambientais dos dois tipos de alvenaria

Reunidos os dados, é possível calcular os impactes ambientais associados às duas soluções, recorrendo ao programa informático *SimaPro*.

Os impactes ambientais totais associados à alvenaria de tijolo cerâmico estão representados na Tabela 50.

Tabela 50 - Impactes totais associados à execução de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>
Depleção dos recursos abióticos (elementos)	kg Sb eq	3,98E-05
Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fósseis)	MJ	2,01E+02
Aquecimento Global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq	2,52E+01
Depleção da camada do ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,84E-06
Oxidação fotoquímica (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	3,68E-03
Acidificação (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq	6,08E-02
Eutrofização (EP)	kg PO <sub>4</sub> --- eq	1,74E-02

Os impactes ambientais associados aos materiais e processos para a execução da **alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm** estão representados na Tabela 51.

Tabela 51 - Impactes ambientais associados aos materiais e processos para execução de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Tijolo</b>	<b>Arg. Ass. Cimento</b>	<b>Arg. Reb. Cimento</b>	<b>Transp. Tijolo</b>
Depleção dos recursos abióticos (elementos)	kg Sb eq	3,30E-05	1,37E-06	4,68E-06	7,64E-07
Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fósseis)	MJ	1,51E+02	1,03E+01	3,53E+01	4,85E+00
Aquecimento Global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq	1,50E+01	2,25E+00	7,67E+00	3,00E-01
Depleção da camada do ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,39E-06	8,71E-08	2,97E-07	5,64E-08
Oxidação fotoquímica (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	2,80E-03	1,87E-04	6,37E-04	5,05E-05
Acidificação (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq	3,93E-02	4,61E-03	1,58E-02	1,19E-03
Eutrofização (EP)	kg PO <sub>4</sub> --- eq	1,17E-02	1,24E-03	4,22E-03	2,68E-04



Na Tabela 52 é possível verificar a utilização de recursos energéticos inerentes à execução da alvenaria de tijolo cerâmico.

Tabela 52 - Recursos energéticos associados à execução da alvenaria de tijolo cerâmico

Categoria de impacto	Unidade	Total
Energia Renovável	MJ	1,17E+01
Energia Não Renovável	MJ	2,20E+02
Energia Total	MJ	2,31E+02

Na Figura 28 é possível observar um esquema em formato de árvore que engloba alguns materiais e processos inerentes à execução de uma alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm. Esta imagem foi retirada do programa informático *SimaPro*.

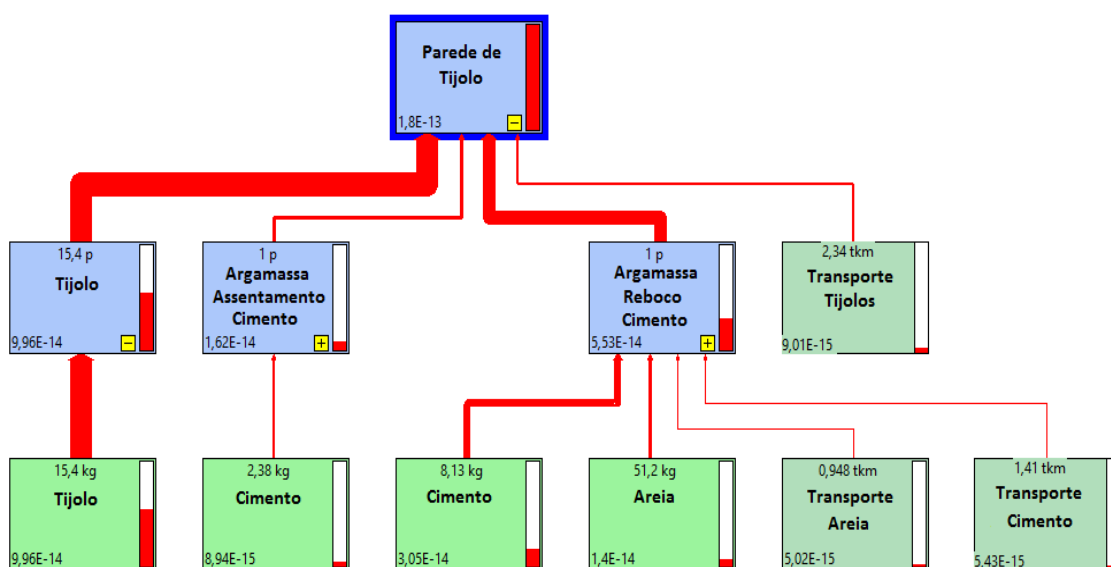


Figura 28 - Árvore relativa à alvenaria de tijolo (apenas alguns materiais e processos)

Os impactos ambientais totais associados à execução da **alvenaria de BTC** estão representados na Tabela 53.

Tabela 53 - Impactes totais associados à execução de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>
Depleção dos recursos abióticos (elementos)	kg Sb eq	9,38E-06
Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fósseis)	MJ	8,95E+01
Aquecimento Global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq	1,98E+01
Depleção da camada do ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	7,61E-07
Oxidação fotoquímica (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	1,65E-03
Acidificação (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq	3,84E-02
Eutrofização (EP)	kg PO <sub>4</sub> --- eq	1,03E-02

Os impactes ambientais associados aos materiais e processos para a execução da alvenaria de BTC estão representados na Tabela 54.

Tabela 54 - Impactes ambientais associados aos materiais e processos para execução de 1 m<sup>2</sup> de BTC

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>BTC</b>	<b>Arg. Ass. Terra</b>	<b>Arg. Reb. Terra</b>	<b>Transp. BTC</b>
Depleção dos recursos abióticos (elementos)	kg Sb eq	6,16E-06	9,33E-07	1,89E-06	3,94E-07
Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fósseis)	MJ	6,00E+01	8,91E+00	1,81E+01	2,50E+00
Aquecimento Global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq	1,34E+01	2,07E+00	4,20E+00	1,55E-01
Depleção da camada do ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	5,00E-07	7,66E-08	1,56E-07	2,91E-08
Oxidação fotoquímica (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	1,11E-03	1,70E-04	3,45E-04	2,61E-05
Acidificação (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq	2,59E-02	3,95E-03	8,01E-03	6,16E-04
Eutrofização (EP)	kg PO <sub>4</sub> --- eq	6,91E-03	1,06E-03	2,15E-03	1,39E-04

A utilização dos recursos energéticos associados à execução da alvenaria de BTC está representada na Tabela 55.

Tabela 55 - Recursos energéticos associados à execução da alvenaria de BTC

Categoria de impacto	Unidade	Total
Energia Renovável	MJ	6,93E+00
Energia Não Renovável	MJ	1,03E+02
Energia Total	MJ	1,10E+02

A Figura 29 foi retirada do programa informático *SimaPro* e é possível verificar, em formato de árvore, alguns dos materiais e processos relativos à execução da alvenaria de BTC.

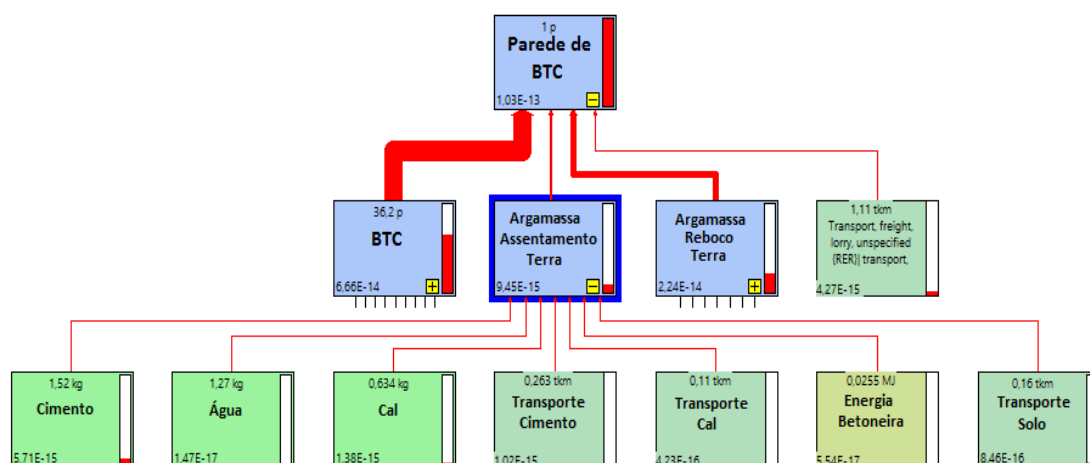


Figura 29 - Árvore relativa à alvenaria de BTC (apenas alguns materiais e processos)

#### 5.5.3.4. Comparação das soluções

Nas Figura 30 encontram-se representados graficamente os impactes totais associados às duas soluções de alvenaria em estudo, individualmente por categoria, facilitando a análise das soluções.



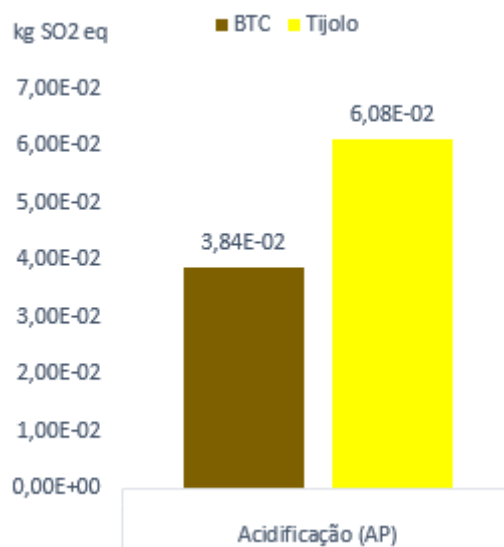


Figura 30 – Impactes ambientais totais associados à execução de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC e 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm, apresentados individualmente por categoria.

Analisando a Figura 30 é possível concluir que a maior diferença de impactes ambientais está na depleção dos recursos abióticos (elementos), alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm possui um aumento de impacte ambiental de 324% nessa categoria. Existe uma grande diferença entre as duas soluções, sendo a de tijolos cerâmicos mais prejudicial em todas as categorias. A menor diferença encontra-se no aquecimento global (GWP), sendo a alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm a que possui maior impacte. O aumento de impacte na categoria aquecimento global é de 27%.

Nesta análise deve-se ter em atenção vários fatores como a quantidade e tipos de tijolos usados em cada solução, assim como peso dos mesmos. A solução da alvenaria de BTC possui 2,5 vezes mais blocos do que a alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm e em termos de peso a alvenaria de BTC possui mais 112,45 kg/m<sup>2</sup>, quase 3 vezes mais do que a alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11 cm. Para além destes fatores a alvenaria de BTC utiliza mais argamassa de assentamento do que a alvenaria de tijolo cerâmico furado de 11cm. Mesmo assim, com estas diferenças de massa e tamanho a alvenaria de BTC consegue melhores resultados do que a alvenaria de tijolo em termos ambientais.

Quanto aos recursos energéticos os mesmos são apresentados na Tabela 56, seguindo-se a Figura 31 que apresenta os resultados graficamente para melhor análise.

Tabela 56 - Recursos energéticos associados à execução de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico e 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC

Categoria de impacto	Unidade	Tijolo	BTC
Energia Renovável	MJ	1,17E+01	6,93E+00
Energia Não Renovável	MJ	2,20E+02	1,03E+02
Energia Total	MJ	2,31E+02	1,10E+02

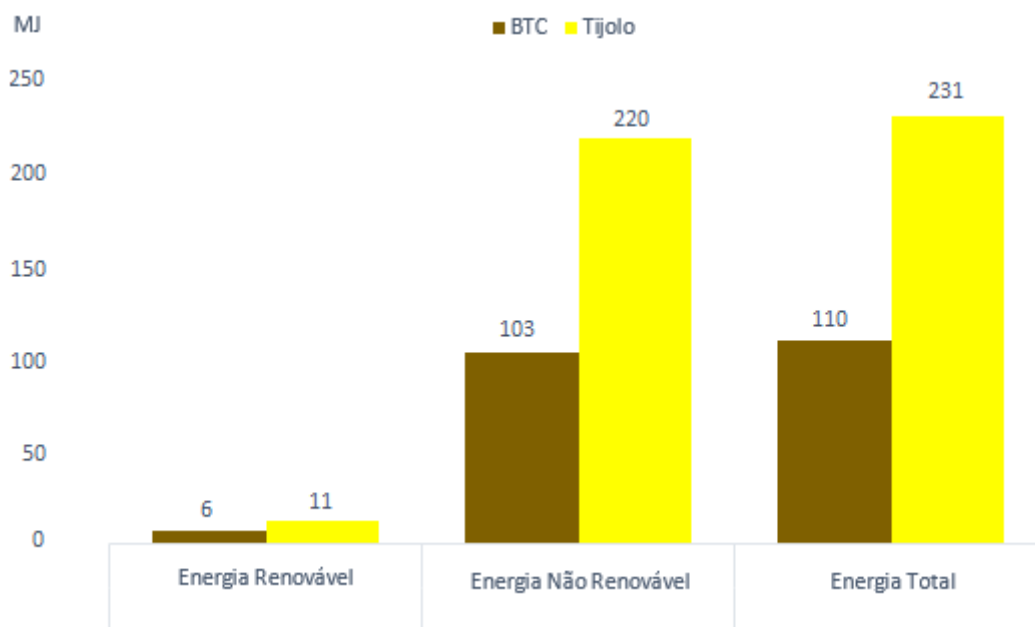


Figura 31 - Recursos energéticos associados à produção de 1m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC e 1m<sup>2</sup> de alvenaria de tijolo

Analisando o gráfico conclui-se que o consumo de energia é claramente superior na solução de alvenaria de tijolo cerâmico, como seria de esperar. O aumento de energia do tijolo cerâmico é de 110%, que é um valor relevante. Esta diferença está relacionada com o consumo de combustíveis fósseis, utilizado principalmente nos transportes de matérias primas.

### 5.5.4. Impactes associados a 1 m<sup>2</sup> de BTC

Esta análise é necessária para elaboração da declaração ambiental do produto (DAP), pois segundo as regras de categoria de produto unidades de alvenaria, a unidade funcional a utilizar é o m<sup>2</sup>.

Utilizando os dados calculados anteriormente, sabe-se que são necessários 39,53 blocos por m<sup>2</sup>, que equivale a 172,35 kg/m<sup>2</sup>.

Os impactes ambientais associados à execução de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC estão representados na Tabela 57 e na Tabela 58 encontram-se representados os recursos energéticos.

Tabela 57 - Impactes ambientais associados à execução de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>
Depleção dos recursos abióticos (elementos)	kg Sb eq	6,16E-06
Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fósseis)	MJ	6,00E+01
Aquecimento Global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq	1,34E+01
Depleção da camada do ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	5,00E-07
Oxidação fotoquímica (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	1,11E-03
Acidificação (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq	2,59E-02
Eutrofização (EP)	kg PO <sub>4</sub> --- eq	6,91E-03

Tabela 58 - Recursos energéticos associados à execução de 1 m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Total</b>
Energia Renovável	MJ	4,67E+00
Energia Não Renovável	MJ	6,95E+01
Energia Total	MJ	7,42E+01

No Anexo I apresenta-se o documento estrutural da DAP do BTC que contempla os resultados apresentados na Tabela 57 e na Tabela 58.





## 6. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi alcançado, resultando no documento estrutural de uma Declaração Ambiental do Produto do Bloco de Terra Comprimida. Foi ainda efetuada uma comparação do desempenho ambiental do BTC com o desempenho ambiental do tijolo cerâmico durado de 11 cm.

O estudo do desempenho ambiental do BTC foi desenvolvido de acordo com a norma NP EN 15804:2012, baseada na análise do ciclo de vida do produto do berço ao portão. Esta análise incide apenas nas fases de extração, transporte e produção do produto.

Para avaliar os potenciais impactos ambientais e a quantidade de energia incorporada recorreu-se ao programa informático *SimaPro*.

O trabalho iniciou-se com a análise do impacto ambiental de uma unidade de BTC, de acordo com os dados que foram recolhidos pela equipa responsável pelo seu desenvolvimento e produção. A informação ambiental associada à produção do BTC baseia-se em quantidades e distâncias estimadas, uma vez que o BTC ainda não passou para a fase de produção industrial. Esta informação servirá assim de suporte às tomadas de decisão que tenham como objetivo melhorar o comportamento ambiental do bloco de terra, num cenário em que o produto passe para fase da produção em série.

De acordo com as regras de categoria de produto para unidades de alvenaria, a unidade declarada a utilizar é o m<sup>2</sup>, logo, foi necessário efetuar uma análise do BTC por m<sup>2</sup>, para desenvolver a informação com a mesma estrutura daquela que é necessário incluir numa DAP.

Com o objetivo de se comparar as vantagens deste produto com o que é convencionalmente utilizado no mercado, comparou-se o desempenho ambiental do BTC com o de um material corrente que é utilizado com funções idênticas. Para isso realizou-se a comparação entre um kg de BTC e um kg de tijolo cerâmico furado, assim como a comparação entre um m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC e um m<sup>2</sup> de tijolo cerâmico furado.

Analisando os materiais com a mesma unidade de massa (1 kg) conclui-se que o tijolo cerâmico gera maiores impactos ambientais em todas as categorias do que o BTC, assim

como no consumo de recursos energéticos. O impacto de 1 kg de tijolo cerâmico na categoria GWP aquecimento global é de 0,250 kg CO<sub>2</sub> eq e o impacto de 1 kg de BTC é de 0,077 kg CO<sub>2</sub> eq, que se traduz numa diferença percentual de 222,4%. Ou seja o tijolo possui um aumento de impacto de 222% em relação ao impacto do BTC. Esta diferença é elevada e deve-se essencialmente ao transporte de matérias-primas e ao processo de cozedura dos tijolos cerâmicos que gera emissões de CO<sub>2</sub> elevadas. No BTC os valores de GWP resultam das emissões produzidas na produção de cimento e cal e dos transportes de matérias-primas.

Quanto à comparação das soluções de alvenaria também se conclui que a parede em alvenaria de tijolo cerâmico vazado gera maiores impactos ambientais e maiores consumos de recursos energéticos do que a parede em alvenaria de blocos de BTC. Analisado a categoria GWP aquecimento global, a alvenaria de tijolo cerâmico produz um impacto de 25,2 kg CO<sub>2</sub> eq e a alvenaria de BTC produz um impacto de 19,8 kg CO<sub>2</sub> eq, que gera uma diferença de 27% de aumento de impacto da solução de alvenaria de tijolo em relação à alvenaria de BTC. Aqui a diferença já não é muito acentuada, pois a alvenaria de BTC utiliza 2,5 mais vezes mais blocos em relação ao tijolo, e possui quase 3 vezes mais pesada em relação a alvenaria de tijolo, ou seja, por m<sup>2</sup> será necessário mais material para executar uma alvenaria de BTC do que uma alvenaria de tijolo cerâmico.

A argamassa para execução da alvenaria de BTC é produzida com cimento e cal, enquanto a argamassa para execução da alvenaria de tijolo é à base de cimento. A diferença na utilização de argamassa de assentamento também é relevante, pois para executar um m<sup>2</sup> de alvenaria de tijolo cerâmico são necessários 15,8 kg/m<sup>2</sup> de argamassa e para executar um m<sup>2</sup> de alvenaria de BTC são necessários 26,60 kg/m<sup>2</sup>.

Tendo em conta que hoje em dia existe uma maior sensibilização da indústria sobre a questão dos impactos ambientais dos produtos, as declarações ambientais são uma ferramenta muito importante para transmitir essa informação sobre os produtos, de uma forma transparente e fidedigna. Deste modo, é importante que os produtores desenvolvam este tipo de documentos para os seus produtos, processos ou serviços para que possam transmitir a informação ambiental dos mesmos aos fornecedores ou consumidores.

## **7. TRABALHOS FUTUROS**

Em trabalhos futuros seria importante uma análise do ciclo de vida do bloco de terra comprimida realizado do berço ao túmulo, ou seja desde a extração até ao fim de vida. Esta análise teria uma amplitude muito maior e permitiria uma comparação com outros produtos. Este tipo de DAP ajuda aos consumidores numa escolha mais fundamentada e os produtores no desenvolvimento de informação mais abrangente acerca dos seus produtos.

Não havendo uma produção sistematizada do BTC, é difícil obter quantidades rigorosas, por isso os valores devem ser revistos se alguma empresa decidir industrializar a produção do BTC.

Com base nos resultados obtidos, seria interessante desenvolver novos BTC's de maiores dimensões e de menor peso de modo a torná-lo ainda mais eficiente em termos ambientais.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida G., Pinho, P. and Arroja, L., “Life-cycle assessment” (acessível em: <https://users.med.up.pt/~faru/LCA.htm> (acedido em 16 de Fevereiro de 2017).
- Almeida, M. (2015), *Declaração Ambiental de Produto - Instrumento de desempenho ambiental com base na avaliação de ciclo de vida*, Tektónica, Lisboa.
- Almeida, M. et al. (2011), *A declaração ambiental de produto para materiais de construção*, CTCV, Guimarães.
- Araújo, M. H. (2015), *Comportamento Térmico de Blocos de Terra Comprimida Ativados Alcalinamente*, Dissertação apresentada à Universidade do Minho, Guimarães.
- Azevedo, R. T., “Análise do ciclo de vida do produto – instrumento de gestão ambiental, acessível em: <http://naturaLink.pt/article.aspx?menuid=6&cid=34613&bl=1&viewall=true> (acedido em 16 de Fevereiro de 2017).
- Bessa, P. (2011), *Avaliação do ciclo de vida dos produtos de base florestal*, Visão 2050, Lisboa.
- Bragança, L. and Mateus, R. (2012), *Análise do ciclo de vida de construções metálicas*, Universidade do Minho, Guimarães.
- "Bre Global Ltd (2013), *Product Category Rules for Type III environmental product declaration of construction products to EN 15804:2012*.
- Cimpor, “Portugal”, acessível em: [http://www.cimpor.pt/artigo.aspx?lang=pt&id\\_object=91&name=PORTUGAL](http://www.cimpor.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=91&name=PORTUGAL) (acedido em 19 de Julho de 2017).
- Cimpor, “Cal hidráulica”, acessível em: [http://www.cimpor-portugal.pt/cache/binImagens/Ficha\\_Tecnica\\_Cal\\_Hidraulica\\_HL\\_5-2199.pdf](http://www.cimpor-portugal.pt/cache/binImagens/Ficha_Tecnica_Cal_Hidraulica_HL_5-2199.pdf) (acedido em 19 de Julho de 2017).
- DAPHabitat, Sistema (2013), *Instruções Gerais do Sistema DAPHabitat. Versão 1.0*, Aveiro.
- DAPHabitat, Sistema (2015b), *Regras para a categoria de produto (RCP) - Modelo Base, produtos e serviços de construção. Versão 2.0.*, Aveiro.
- DAPHabitat, Sistema (2015c), *Regras para a categoria de produto, unidades de alvenaria. Versão 1.0.*, Aveiro.
- Dias, B. (2015), *Normalização e Sustentabilidade na Construção*, CTCV, Coimbra.

- Domingues, R. M. V. (2015), *Avaliação do potencial económico de implementação da construção em BTC*, Dissertação apresentada à Universidade do Minho, Guimarães.
- Ecochoice, S.A. (2012), *Estudo do enquadramento normativo e dos programas de registo europeus de declarações ambientais de produto*. Promotor: Entidade gestora do cluster habitat sustentável, Plataforma para a construção sustentável.
- Falcão, J. M. F. (2014), *Arquitetura contemporânea em terra*, Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.
- Faria, C., “Agenda 21”, acessível em: <http://www.infoescola.com/geografia/agenda-21/> (acedido em 9 de Fevereiro de 2017).
- Ferreira, V. (2013), *DAPHabitat - Sistema Nacional de Registo de Declarações Ambientais de Produto para o Habitat*, Tektónica Fil, Lisboa.
- Galvão, A. (2004), *Análise de Ciclo de Vida*. [S.1.].
- Geoma, “Laboratório de ensaios”, acessível em: <http://www.geoma.pt/p69-laboratorio-de-ensaios-pt> (acedido em 26 de Setembro de 2017).
- Gomes, M. I. S. (2013), *Conservação de construções de taipa: argamassas de reparação*, Tese apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Gomes, N. D. B. G. (2015), *Caracterização de blocos de terra para construção de alvenarias eco eficientes*, Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Houben, H. and Guillaud, H. (1989). *Traité de Construction en Terre*, Marseille, Editions Parenthèses.
- Imperialum, Sociedade Comercial de Revestimentos e Impermeabilizações, S.A. (2013), *Declaração Ambiental de Produto, Sistemas de impermeabilização de coberturas, com membranas betuminosas totalmente aderidas*, Montijo.
- IMVF, “A nova agenda global de desenvolvimento sustentável”, acessível em: <http://www.imvf.org/?noticia=1681> (acedido em 11 de Fevereiro de 2017).
- ISO 14025 (2006), *Rótulos e declarações ambientais – Declarações ambientais Tipo III – Princípios e procedimentos*.
- ISO 14040 (2006), *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and Framework*.
- ISO 14044 (2006), *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*.

ISO 21930 (2007), *Building construction – Sustainability in building construction..*

Torgal, F. P. and Jalali, S. (2015), “Construção em terra: algumas considerações sobre a selecção de solos”, acessível em: [http://www.academia.edu/21562427/Constru%C3%A7%C3%A3o\\_em\\_terra\\_algumas\\_considera%C3%A7%C3%B5es\\_sobre\\_a\\_selec%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_solos](http://www.academia.edu/21562427/Constru%C3%A7%C3%A3o_em_terra_algumas_considera%C3%A7%C3%B5es_sobre_a_selec%C3%A7%C3%A3o_de_solos) (acedido em 23 de Maio de 2017).

Júlio, E. S. (2011), *Reabilitação de reforço de estruturas*, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.

Lopes, G. A. (2011), *Avaliação do Ciclo de Vida de dois materiais de isolamento utilizados na construção civil: o poliestireno expandido e o aglomerado de cortiça expandida*, Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Lourenço, P.B. et al. (2011), *Declaração Ambiental de Produto para Cerâmicos de Alvenaria. Paredes divisórias: Passado, presente e futuro*. [S.1.].

Ministério do Desenvolvimento, indústria e comércio exterior. INMETRO - Portaria nº 110, de 25 de fevereiro de 2015

Moreira, A. M. (2008), *Terra Crua - Materiais de Construção I*, Escola Superior de Tecnologia de Tomar - Departamento de Engenharia Civil, Tomar.

NP EN 15804 (2012), *Sustentabilidade das obras de construção – Declarações ambientais dos produtos – Regras de base para as categorias de produto de construção*.

ONU, “Guia para desenvolvimento sustentável”, acessível em: [http://www.unric.org/pt/images/stories/2016/ods\\_2edicao\\_web\\_pages.pdf](http://www.unric.org/pt/images/stories/2016/ods_2edicao_web_pages.pdf) (acedido em 11 de Fevereiro de 2017).

ONUBR, “Transformando nosso mundo. Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável”, acessível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> (acedido em 11 de Fevereiro de 2017).

Queiroga, M. S. (2016), *Resistência à compressão de painéis reduzidos de alvenaria de BTC*. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba.

Quinta-Nova, L.C. (2014), “Análise do ciclo de vida”, Palestra proferida no âmbito da Licenciatura em Engenharia dos Recursos Renováveis, IPCB-EST, Castelo Branco.

Quintas, S. C. S. (2015), *Avaliação do desempenho ambiental do aglomerado negro de cortiça*, Dissertação apresentada à Universidade do Minho, Guimarães.


- Ribeiro A, “Desenvolvimento Sustentável”, acessível em: <http://www.infoescola.com/geografia/desenvolvimento-sustentavel/> (acedido em 9 de Fevereiro de 2017).
- Ribeiro, A. M. F. (2015), *Análise experimental do comportamento ao corte de paredes reforçadas em alvenaria de BTC*, Dissertação apresentada à Universidade do Minho, Guimarães.
- Ribeiro, D. S. (2016), *Contributo para a caracterização de alvenarias de blocos de terra comprimida*, Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Rocha, M. (2017), *Dossier BTC*, CEDACTerra, Badajoz.
- Silva, D. P. S. (2017), *BTC: alternativa aos sistemas construtivos de parede correntes em Portugal*. Universidade do Minho, Guimarães.
- Silva, F. C. G. S. (2015), *Blocos de terra compactada com e sem materiais cimentícios*, Dissertação apresentada ao Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.
- Torgal, F. P., Eires, R. M. G. and Jalali, S. (2009), *Construções em Terra*, Universidade do Minho, Guimarães.
- Trindade, P. (2010), *Rotulagem Ambiental*, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa.
- Ugaya, C. M. L. (2013), *Avaliação do Ciclo de Vida*. [S.1.].
- WWF, “O que é desenvolvimento sustentável”, acessível em: [http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/questoes\\_ambientais/desenvolvimento\\_sustentavel/](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/) (acedido em 9 de Fevereiro de 2017).
- UNRIC, “Objetivos de desenvolvimento do milénio”, acessível em: <https://www.unric.org/pt/objectivos-de-desenvolvimento-do-milenio-actualidade> (acedido em 11 de Fevereiro de 2017).



## **ANEXOS**

## Anexo I – Declaração ambiental de produto do bloco de terra comprimida

<b>DAP - Declaração Ambiental de Produto</b>
--

 <b>Universidade do Minho</b> Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Civil	<b>Bloco de Terra Comprimida (BTC)</b>
---	--

(de acordo com a ISO 14025:2006 e NP EN 15804:2012)

Data de emissão: \_\_/\_\_/\_\_

Data de validade \_\_/\_\_/\_\_

<b>Empresa titular</b>	
<b>Programa de Verificação</b>	
<b>Elaboração da Declaração</b>	



(Fonte: B2Terra)

## 1. Informações Gerais

<b>Autores</b>	Universidade do Minho
<b>Contatos</b>	-
<b>Número de registo</b>	-
<b>Data de emissão</b>	-
<b>Data de registo</b>	-
<b>Válido até</b>	-
<b>Representatividade da DAP</b>	DAP de um produto, produzido numa unidade de produção pertencente a um único produtor (UM)
<b>Tipo de DAP</b>	DAP do berço ao portão (A1-A3)

### 1.1. Demonstração de verificação

Verificação independente da declaração de acordo com a norma EN ISO 14025:2010

Organismo de Certificação

\_\_\_\_\_

Verificador(es)

\_\_\_\_\_

### 1.2.Registo da DAP


Operador de Programa de Registo

\_\_\_\_\_

### 1.3. RCP de Referência

<b>Nome</b>	RCP – Unidades de alvenaria V1.0 (2015)
<b>Data de emissão</b>	Edição dezembro 2015
<b>Número de registo na base de dados</b>	RCP 006
<b>Versão</b>	V1.0 (2015)
<b>Coordenador RCP</b>	Baio Dias   <a href="mailto:baiodias@ctcv.pt">baiodias@ctcv.pt</a> Luis Arroja   <a href="mailto:arroja@ua.pt">arroja@ua.pt</a>
<b>Autores</b>	Marisa Almeida   <a href="mailto:marisa@ctcv.pt">marisa@ctcv.pt</a> Baio Dias   <a href="mailto:baiodias@ctcv.pt">baiodias@ctcv.pt</a> Luís Arroja   <a href="mailto:arroja@ua.pt">arroja@ua.pt</a>
<b>Painel setorial</b>	APICER – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica; Artebel, S.A. – Soluções construtivas em betão; ANIPB – Associação Nacional dos Industriais de Prefabricação em Betão; Argex – Argila Expandida, S.A.
<b>Período de consulta</b>	11/06/2014 a 30/06/2014
<b>Válido até</b>	30/01/2020

### 1.4. Informações sobre o produto

<b>Identificação do produto</b>	Bloco de terra comprimida (BTC)
<b>Ilustração do produto</b>	
<b>Breve descrição do produto</b>	Os blocos de terra comprimida são constituídos por uma mistura de solo, 10% de cimento, 5% de cal e água. Estes blocos são obtidos através da prensagem da mistura, confinada a um molde, numa prensa manual.

Embalagem	Os blocos de terra comprimida são colocados em paletes e envolvidos em filme retrátil.		
Principais características técnicas do produto	Dados técnicos da do produto:		
	Características	Desempenho	Doc. Normativo
	Massa volúmica	1800 kg/m³	Ensaio não normalizado
	Condutibilidade térmica	0,81-0,93 W/m.K	ISO/FDIS 10456:2007 ASTM C1046:2011 ASTM C1155:2011
	Resistência à compressão	4,3-6,3 MPa	NBR 8492 (1984)
	Resistência à tração por flexão	0,89 MPa	NP EN 772 – 6 (2002)
	Absorção de água	8-10%	NTC 5324 (2004)
	Isolamento aos sons aéreos	46 dB	NP EN ISO 140-4:2009 NP EN ISO 354:2003 NP EN ISO 140-5:2009 ISO 717-1:2013
Descrição da aplicação do produto	A aplicação do BTC é idêntica à dos tijolos cerâmicos ou blocos, sendo usados principalmente na construção de paredes de alvenaria. Devemos no entanto ter especial atenção à argamassa utilizada para o assentamento do BTC. A argamassa		

	<p>a utilizar deverá ter uma composição idêntica à do BTC de modo a compatibilizar os materiais e evitar o aparecimento de fissuras.</p> <p>O BTC pode ter um acabamento final, como o reboco ou poderá ficar à vista.</p>
<b>Vida útil de referência</b>	No caso da DAP “do berço ao portão” não se deve declarar a vida útil de referência, sendo declarada como "não especificada";
<b>Condições e substâncias a declarar</b>	Não aplicável
<b>Histórico de estudos de ACV</b>	-

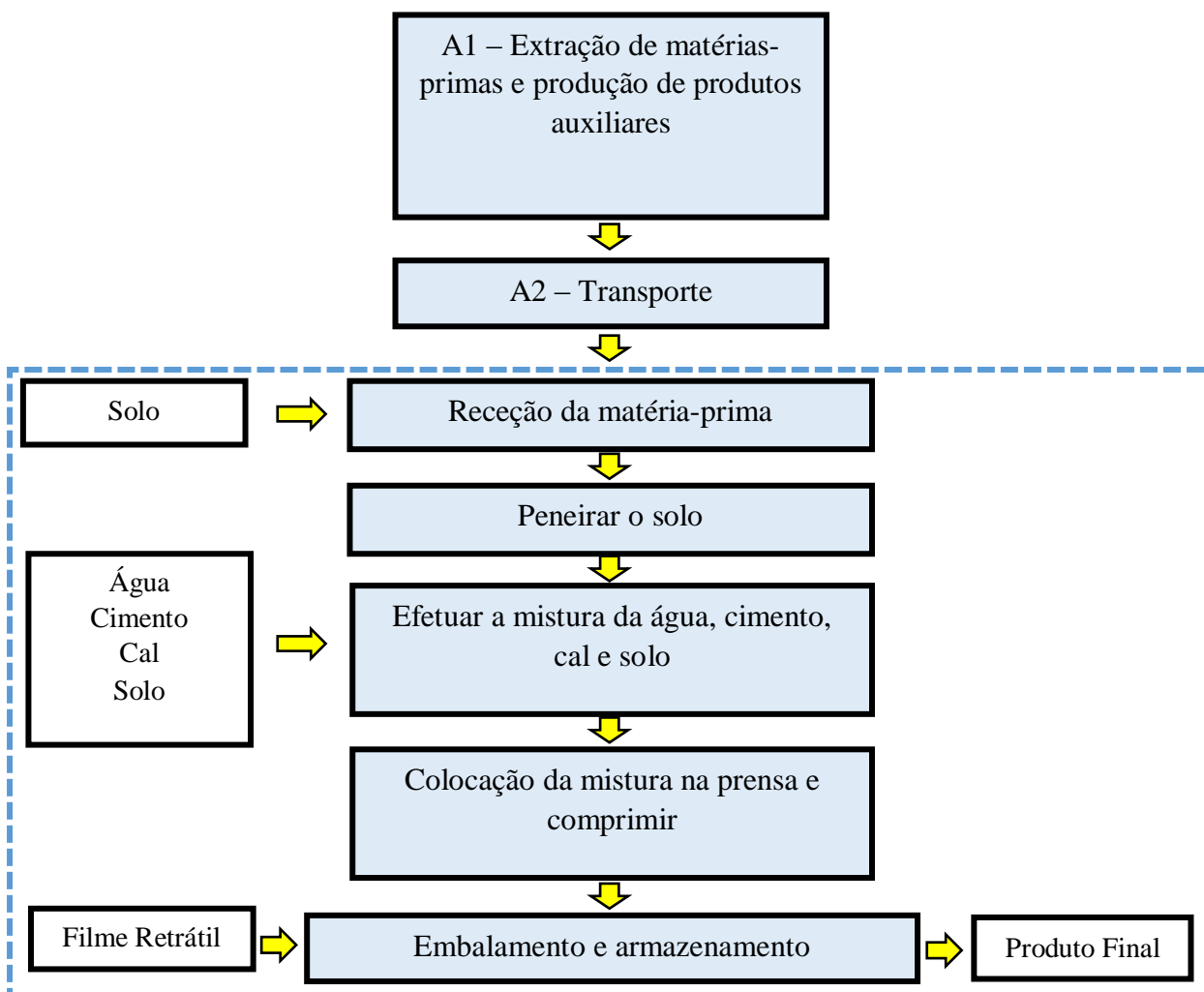
## 2. Desempenho Ambiental do Produto

### 2.1.Regras de cálculo da ACV

<b>Unidade declarada</b>	1 m <sup>2</sup> em bloco de terra comprimida para parede de alvenaria.
<b>Unidade funcional</b>	-
<b>Fronteira do sistema</b>	DAP do berço ao portão
<b>Critérios de exclusão</b>	<p>Todos os dados associados à produção do produto serão incluídos na ACV.</p> <p>Os dados que estejam em falta poderão ser substituídos por hipóteses conservativas com dados médios ou genéricos.</p> <p>Sempre que se recorra aos critérios de exclusão estes devem ser fundamentados em considerações ou pareceres de peritos</p>
<b>Qualidade e outras características sobre a informação utilizada na ACV</b>	<p>Os dados específicos são baseados na produção do BTC pela UM em 2016, utilizando solo extraído em Guimarães.</p> <p>Os dados genéricos são da base de dados <i>Ecoinvent</i>, extraídos do programa informático <i>SimaPro</i> versão de 2016. Os dados foram criados em 2003 e atualizados constantemente, sendo a última atualização da <i>Ecoinvent</i> em 2016 versão 3.4.</p>

<b>Regras de alocação</b>	Não foram consideradas regras de alocação, uma vez que apenas é produzido o BTC.
<b>Comparabilidade</b>	As DAP de produtos e serviços de construção podem não ser comparáveis caso não sejam produzidas de acordo com a NP EN 15804:2012 e a NP EN 15942:2011 e de acordo com as condições de comparabilidade determinadas pela ISO 14025:2006.

### 2.1.1. Diagrama de fluxos de entrada e saída dos processos



Etapas de produção (A1-A3)

<b>2.1.2. Descrição da fronteira do sistema</b>
---

(√ = incluído; X = módulo não declarado)

Etapa de Produto			Etapa de Construção	Etapa de Utilização								Etapa de Fim de Vida				Benefícios e Cargas ambientais para além da Fronteira do Sistema
Extração e processamento de matérias-primas	Transporte	Produção	Transporte	Processo de construção e instalação	Utilização	Manutenção	Reparação	Substituição	Reabilitação	Uso de energia (operacional)	Uso de água (operacional)	Desconstrução e demolição	Transporte	Processamento de resíduos	Eliminação fina	Potencial de reutilização, valorização e reciclagem
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
✓	✓	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X



## 2.2. Parâmetros que descrevem os potenciais impactes ambientais

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extração e processamento de matérias-primas</li> <li>• Transporte</li> <li>• Produção</li> </ul>
Depleção dos recursos abióticos (elementos)	kg Sb eq	6,16E-06
Depleção dos recursos abióticos (combustíveis fosseis)	MJ	6,00E+01
Aquecimento Global (GWP)	kg CO2 eq	1,34E+01
Depleção da camada do ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	5,00E-07
Oxidação fotoquímica (POCP)	kg C2H4 eq	1,11E-03
Acidificação (AP)	kg SO2 eq	2,59E-02
Eutrofização (EP)	kg PO4--- eq	6,91E-03

## 2.3.Parâmetros que descrevem a utilização de recursos

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extração e processamento de matérias-primas</li> <li>• Transporte</li> <li>• Produção</li> </ul>
Energia Renovável	MJ	4,67E+00
Energia Não Renovável	MJ	6,95E+01
Energia Total	MJ	7,42E+01